สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉาดกระบัง

การศึกษาการสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ด้วยวิธีชูรีเลนน์

Study on Fuel Spray of Diesohol by Schlieren Method

โดย

นายพิสิฐ อริยพูลพงศ์

นายสรกฤษฎิ์ โมระมัต

นายสิทธิโชค ประเสริฐสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วท.
พ ๗๒๘ ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 81759
วัน,เดือน,ปี 24 มิ.ย. 2551

b 11936502
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ด้วยวิธีชูรีเลนน์

Study on Fuel Spray of Diesohol by Schlieren Method

ผู้จัดทำ

1. นายพิสิฐ อริยพูลพงศ์ รหัสประจำตัว 47010528
2. นายสรกฤษฎิ์ โมระมัต รหัสประจำตัว 47010811
3. นายสิทธิโชค ประเสริฐสุข รหัสประจำตัว 47010834

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ด้วยวิธีชูรีเลนน์

นายพิสิฐ อริยพูลพงศ์ 47010528
นายสรกฤษฎิ์ ไมระมัด 47010811
นายสิทธิโชค ประเสริฐสุข 47010834
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีโซฮอล์จากหัวฉีดดีเซลแบบมัลติพอร์ท(หัวฉีดแบบ 4 รู)โดยการใช้วิธีชูรีเลนน์ในการทดลอง สำหรับการทดลองนั้นจะศึกษาโดยดูจากองศาการกระจายตัวของน้ำมันที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้จำลอง ในการทดลองนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความดันหัวฉีดที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 kg/cm^2 ตามลำดับ พร้อมทั้งปรับความดันภายในห้องเผาไหม้จำลอง ที่ค่าความดัน 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 ตามลำดับ และยังใช้น้ำมันในการศึกษา 3 ชนิดด้วยกันคือ น้ำมันดีเซล, น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) และน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น 2.443% สำหรับน้ำมันดีเซล, 3.684% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) และ 4.786% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะลดลง 2.126% สำหรับน้ำมันดีเซล, 3.817% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) และ 4.192% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) องศาการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น 10.964% และเมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) องศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น 17.523%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Fuel Spray of Diesohol by Schlieren Method

Pisit Ariyapoonpong

Sorakrit Moramat

Sittichok Prasertsook

Asst.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor

Abstract

The objective of this thesis is to study on distribution of diesohol spray from multi-port injector (4-port injector) by Schlieren technique, which is a visual process that is used for capturing the fluid flow in various densities. The cone angle of fuel spray is the main subject to observe. Three different fuels has been tested in the experiment; diesel, diesohol (5% ethanol) and diesohol (10% ethanol) at 4 different injection pressures; 150, 170, 190 and 210 kg/cm^2 respectively and also at 4 combustion chamber pressures; 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0 kg/cm^2

The results of the experiment show that, as the combustion chamber pressure increases, the cone angle of fuel spray increases 2.443%, 3.684% and 4.786% for diesel, diesohol (5% ethanol) and diesohol (10% ethanol) respectively. As the injection pressure increases, the cone angle of fuel spray decreases 2.126%, 3.817% and 4.192% for diesel, diesohol (5% ethanol) and diesohol (10% ethanol) respectively. The cone angle of diesohol (5% ethanol) spray is 10.964% greater than diesel spray and the cone angle of diesohol (10% ethanol) is 17.523% greater than diesel spray.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ พี่แขก ที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ร้านลาดกระบังดีเซล ที่ให้ความช่วยเหลือด้านหัวฉีด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงาน

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายพิสิฐ อริยพูลพงศ์
นายสรกฤษฎ์ โมระมัต
นายสิทธิโชค ประเสริฐสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII
สารบัญตาราง.....IX
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....1
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 Schlieren Technique.....3
2.1 การกระจายตัวของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน.....3
2.2 วิธีชูรีเลนน์ (Schlieren Method).....4
2.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบชูรีเลนน์แบบทั่วไป.....7
บทที่ 3 ระบบการฉีดน้ำมัน.....8
3.1 ระบบการฉีดน้ำมัน (Fuel Injection System).....8
3.2 ปั๊มหัวฉีดดีเซล (Diesel Fuel Injection Pump).....9
3.3 หัวฉีดน้ำมันดีเซล.....13
3.4 กัฟเวอร์เนอร์ (Governor).....15
บทที่ 4 ดีโซฮอล์.....17
4.1 การผสมดีโซฮอล์.....17
4.2 ผลกระทบจากการใช้ดีโซฮอล์.....18
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....20
5.1 รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทดลอง.....20
5.2 แผนผังแสดงแบบจำลองของชุดทดสอบ.....27
5.3 วิธีการทดลอง.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....29

6.1 ผลการทดลอง.....29

6.2 สรุปผลการทดลอง.....46

บรรณานุกรม.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 แสดงขนาดองศาการกระจายของน้ำมันดีเซลที่ความดันต่างๆ.....43
6.2 แสดงขนาดองศาการกระจายของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) ที่ความดันต่างๆ..... 44
6.3 แสดงขนาดองศาการกระจายของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) ที่ความดันต่างๆ..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงระบบชูรีเลนน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด 4

2.2 แสดงระบบชูรีเลนน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด 5

2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดและมีดตัดแสง 5

2.4 แสดงตัวอย่างชุดทดลองชูรีเลนน์ 6

3.1 แสดงระบบการฉีดน้ำมัน 8

3.2 แสดงส่วนประกอบของปั๊มหัวฉีดดีเซลทั่วไป 9

3.3 แสดงการจ่ายน้ำมันสูงสุด 10

3.4 แสดงการจ่ายน้ำมันปกติ 10

3.5 แสดงการจ่ายน้ำมันเป็นศูนย์ 11

3.6 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียง 11

3.7 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียงแบบ automatic advance 12

3.8 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียงที่ขอบทั้งสองด้าน 12

3.9 แสดงลิ้นจ่ายน้ำมัน 13

3.10 แสดงหัวฉีดน้ำมัน 14

3.11 แสดงกัฟเวอร์เนอร์แบบควบคุมแรงบิด 16

5.1 แสดงลักษณะของแบตเตอรี่ 21

5.2 แสดงลักษณะของ Light Source 21

5.3 แสดงลักษณะของ Concave Mirror 22

5.4 แสดงลักษณะของ Reflect Mirror 22

5.5 แสดงลักษณะของ Knife Edge System 23

5.6 แสดงห้องเผาไหม้จำลอง 23

5.7 แสดงถังแก๊สไนโตรเจน 24

5.8 แสดง Vacuum Pump 24

5.9 ปั๊มดีเซลแบบอินไลน์ 25

5.10 แสดงหัวฉีดดีเซลแบบ 4 รู 25

5.11 แสดงน้ำมันดีเซล 26

5.12 แสดงน้ำมันไบโอดีเซล 26

5.13 แสดงแอลกอฮอล์ (เอทานอล 95%) 26

5.14 แสดงน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.15 แสดงน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล10%)..... 27
5.16 แสดงแบบจำลองของชุดทดสอบ..... 27
6.1 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2..... 29
6.2 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2..... 29
6.3 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2..... 30
6.4 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2..... 30
6.5 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้ 0.4kg/cm^2..... 30
6.6 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2..... 30
6.7 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2..... 31
6.8 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2..... 31
6.9 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2..... 31
6.10 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2..... 31
6.11 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2..... 32
6.12 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2..... 32
6.13 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2..... 32
6.14 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2..... 32
6.15 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2..... 33
6.16 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2..... 33
6.17 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2 34
6.18 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2 34
6.19 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2 34
6.20 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2 34
6.21 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2 35
6.22 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2 35
6.23 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2 35
6.24 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2 35
6.25 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2 36
6.26 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2 36
6.27 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2 36
6.28 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2 36
6.29 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.4 kg/cm^2 37
6.30 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.6 kg/cm^2 37
6.31 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้0.8 kg/cm^2 37
6.32 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์5%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2ห้องเผาไหม้1.0 kg/cm^2 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.33 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.4 kg/cm^2 38
6.34 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.6 kg/cm^2 38
6.35 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.8 kg/cm^2 38
6.36 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด150 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 1.0 kg/cm^2 38
6.37 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.4 kg/cm^2 39
6.38 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.6 kg/cm^2 39
6.39 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.8 kg/cm^2 39
6.40 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด170 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 1.0 kg/cm^2 39
6.41 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.4 kg/cm^2 40
6.42 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.6 kg/cm^2 40
6.43 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.8 kg/cm^2 40
6.44 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด190 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 1.0 kg/cm^2 40
6.45 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.4 kg/cm^2 41
6.46 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.6 kg/cm^2 41
6.47 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 0.8 kg/cm^2 41
6.48 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์10%ความดันหัวฉีด210 kg/cm^2
ห้องเผาไหม้ 1.0 kg/cm^2 41
6.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายตัวของน้ำมัน
ดีเซล ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 กก./ตร.ซม 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีไซยอล์ (เอทานอล 5%) ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 กก./ตร.ซม..... 44
6.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีไซยอล์ (เอทานอล 10%) ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 กก./ตร.ซม..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากในปัจจุบันโลกประสบปัญหาทางด้านราคาน้ำมันและมีปริมาณการใช้ที่มากขึ้น จึงจำเป็นต้องร่วมมือกันประหยัดพลังงานหรือหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทน ทำให้ประเทศไทยพยายามใช้พลังงานที่มีอยู่ในประเทศ โดยเฉพาะเอทานอลที่ขณะนี้มีวัตถุดิบและกำลังการผลิตเหลือเป็นจำนวนมาก

แม้ว่าจะมีความพยายามส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ให้มากขึ้น โดยปัจจุบันกำลังการผลิตของเอทานอลในประเทศไทยมีอยู่ประมาณ 1.4 ล้านลิตรต่อวัน ขณะที่ความต้องการใช้เอทานอลในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ มีเพียง 0.5 ล้านลิตรต่อวัน โดยยังมีกำลังผลิตของโรงงานเอทานอลที่ยังอยู่ระหว่างการก่อสร้างอีกถึง 3 ล้านลิตรต่อวัน การพิจารณานำเอทานอลมาผสมในน้ำมันดีเซลหรือที่เรียกกันว่าดีโซฮอล์ (Diesohol) ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแก้ปัญหาเอทานอลล้นเพราะประเทศไทยมีการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ค่อนข้างมากถึงวันละ 50 ล้านลิตร ถ้าสามารถผสมในสัดส่วนไม่สูงมากเช่น ร้อยละ 2 ก็สามารถใช้เอทานอลได้ถึง 1 ล้านลิตรต่อวัน นอกจากนี้ราคาเอทานอลในปัจจุบันอยู่ที่เพียง 13-15 บาทต่อลิตร ขณะที่ราคาต้นทุนน้ำมันดีเซลไม่รวมภาษีและกองทุนน้ำมันต่างๆ สูงถึงประมาณ 22-23 บาทต่อลิตร ดังนั้นหากนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลก็น่าจะช่วยลดราคาน้ำมันลงมาได้ น้ำมันดีโซฮอล์เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันดีเซลและเอทานอล และอาจจะเติมสารเติมแต่งประเภท อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) เพื่อทำให้สารตั้งต้นทั้งสองผสมกันได้ดี แต่ถ้าใช้เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนไม่มากอาจไม่จำเป็นต้องเติมสารดังกล่าว

ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำจึงเห็นว่า ดีโซฮอล์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ ถ้าหากมีการพัฒนาอย่างจริงจังแล้ว ดีโซฮอล์ จะมาแทนที่น้ำมันดีเซลได้ในอนาคตอันใกล้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของ น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ ที่ออกจากหัวฉีดด้วยวิธีชูรีเลนน์

1.2.2 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ ที่ความดันต่าง ๆเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาและพัฒนาในการฉีดน้ำมันดีโซฮอล์ในห้องเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาการกระจายตัวของ น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ ในห้องเผาไหม้จำลองที่สามารถปรับควบคุมความดันได้ โดยปรับความดันที่ 0.4 , 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันดีไซฮอล์ที่มีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 5 และร้อยละ 10 เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษาวิจัย

1.3.3 ใช้หัวฉีดดีเซลชนิดมัลติพอร์ท ปรับความดันที่ 150, 170, 190 และ 210 kg/cm^2 ตามลำดับ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 การวิจัยในโครงงานนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆที่เกียวกับงานวิจัยดังนี้

- ทฤษฎีชูริเลนส์ และวิธีใช้อุปกรณ์ชูรีเลนน์
- น้ำมันดีไซฮอล์สัดส่วนการผสมต่าง ๆ
- ระบบหัวฉีดน้ำมันดีเซล

1.4.2 สร้างและจัดอุปกรณ์ที่นำมาทดลองศึกษาการกระจายตัวของ น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีไซฮอล์ ดังนี้

- ชุดอุปกรณ์ชูรีเลนน์
- ห้องเผาไหม้จำลอง
- หัวฉีดดีเซล ชนิดมัลติพอร์ท
- ชุดวงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ
- ถังแก๊สไนโตรเจน และ Vacuum pump

1.4.3 ทำการทดลอง สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพื่อเป็นแนวทางในการใช้น้ำมันดีไซฮอล์ในรถยนต์แทนน้ำมันดีเซลที่มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

Schlieren Technique

โดยปกติแล้วตาของคนเราหรือกล้องถ่ายรูปแบบธรรมดาไม่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างเฟสในลำแสงหนึ่งๆได้ เราสามารถเห็นได้เฉพาะความสุกใสของแสง ความแตกต่างของสีและโพลาไรเซชันของแสง ถ้ามนุษย์สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างเฟสของแสงได้มนุษย์จะสามารถเห็นทัศนียภาพใหม่ๆที่ไม่เคยมองเห็นมาก่อน ทัศนียภาพเหล่านั้นเป็นสิ่งที่สามารถจะมองเห็นได้ด้วยวิธีชูรีเลนน์ซึ่งสามารถเปลี่ยนความต่างเฟสของแสงให้เป็นความสุกใสของแสง และความแตกต่างของสีในบางครั้ง

2.1 การกระจายตัวของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

แสงจะกระจายตัวอย่างเป็นรูปแบบเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แสงจากดวงดาวจะไม่ถูกรบกวนใดๆขณะที่เดินทางผ่านสุญญากาศ ถ้าสมมุติให้บรรยากาศโลกเป็นเนื้อเดียวกัน แสงจากดาวที่มาถึงพื้นโลกจะเป็นลำแสงขนาน แต่ในความเป็นจริงแล้วบรรยากาศของโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันเนื่องมาจากการไหลอย่างปั่นป่วน,การพาความร้อนของอากาศ และปรากฏการณ์ทางสภาพอากาศ เป็นต้น ความไม่สมดุลเหล่านี้ทำให้ความหนาแน่นของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยส่งผลให้ดัชนีการหักเหเปลี่ยนไป ดังนั้นรังสีแสงของแสงจากดาวจะไม่ตรง หน้าคลื่นของแสงจะตั้งฉากกับแนวลำแสงเสมอ หน้าคลื่นจะเริ่มย่นเมื่อมีการบิดเบือนของเฟส ดังนั้นรูปของดาวจะไม่เป็นรูปจุดเพราะความผันแปรของบรรยากาศเกิดขึ้นตลอดเวลา เราจึงเห็นดาวกระพริบ ความแปรปรวนเหล่านี้เองทำให้นักดาราศาสตร์ต้องนำกล้องโทรทรรศน์ขึ้นไปวางในวงโคจรที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศ

แสงจะมีความเร็วไม่เท่ากันในตัวกลางที่แตกต่างกัน ดัชนีการหักเหของแสง $n = c_0/c$ สำหรับตัวกลางโปร่งใส โดย c คือความเร็วของแสงในตัวกลาง c_0 คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ 3×10^8 เมตรต่อวินาที สำหรับอากาศและก๊าซอื่นๆ ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหักเหกับความหนาแน่นของก๊าซ คือ

$$n = 1 + k(\lambda) * \rho$$

โดย k ค่าคงที่ของ Gladstone-Dale ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง λ สำหรับอากาศปกติจะมีค่า k ประมาณ 0.23 cm^3/g เราจะสังเกตได้ว่าค่าของ n จะขึ้นอยู่กับ ρ การเปลี่ยนความหนาแน่นของอากาศเพิ่มจากเดิม 2 เท่าจะทำให้ n เพิ่มขึ้นเพียง 3% เท่านั้น ดังนั้นถ้าเราต้องการทราบความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยนั้นเราจะต้องการเลนส์ที่มีความไวสูง

จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าวิธีชูรีเลนน์สามารถทำให้มองเห็นของไหลที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันได้ เราสามารถทำวิธีชูรีเลนน์มาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆได้ เช่น การสังเกตการไหลแบบ supersonic เราจะสามารถเห็นคลื่นกระแทกและคลื่นขยายซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนด้วยวิธีชูรีเลนน์ การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จึงเป็นพื้นฐานในการออกแบบยานพาหนะความเร็วสูงเพราะว่าความเสถียรของยาพาหนะประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของคลื่นกระแทกและคลื่นขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เพียงแต่การไหลแบบ supersonic เท่านั้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น การไหลแบบ subsonic ที่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นก็เหมาะที่จะศึกษาด้วยวิธีชูรีเลนส์เช่นกัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ความหนาแน่นของตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีชูรีเลนน์เป็นวิธีหนึ่งที่มักจะใช้ในการสังเกตการพาความร้อน

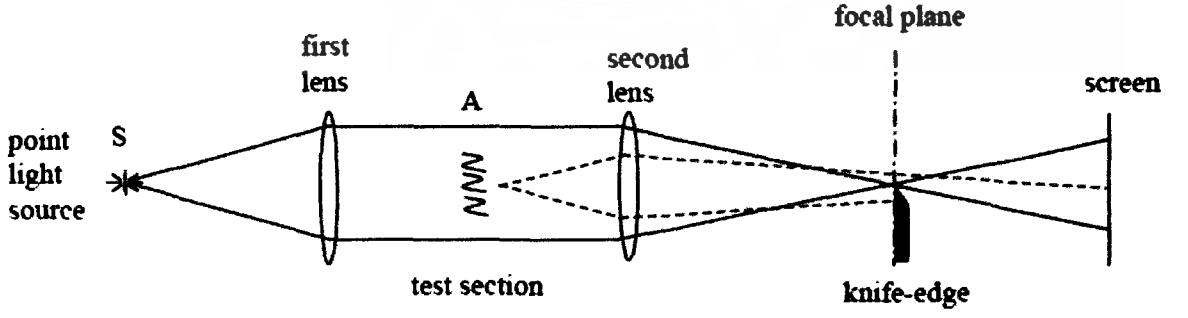
2.2 วิธีชูรีเลนน์ (Schlieren Method)

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด

จากรูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดแสงวางอยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 1 แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกหักเหโดยเลนส์ให้กลายเป็นลำแสงขนานผ่านช่วงที่ทดสอบ เลนส์ตัวที่ 2 จะทำหน้าที่รวมแสงภาพที่เกิดขึ้นบนฉากนั้นจะเป็นภาพจริงหัวกลับของสิ่งที่ทดสอบ แต่เนื่องจากภาพเงาของสิ่งที่ทดสอบที่ได้บนฉากในขณะนี้จะมีลักษณะที่มัวไม่ชัดเจน จึงต้องมีการเพิ่มมีดตัดแสงเข้าไปในระบบในตำแหน่งจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 เพื่อทำให้ภาพที่เกิดขึ้นนั้นคมชัดสมบูรณ์ โดยทั่วไปแล้วมีดตัดแสงทำมาจากใบมีดโกนธรรมดานี่เอง

เมื่อวางมีดตัดแสงในตำแหน่งจุดโฟกัสจะทำให้ภาพที่ปรากฏมืดขึ้น เนื่องจากมีดตัดแสงวางอยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสซึ่งรวมลำแสงให้กลายเป็นจุด มีดตัดแสงจะตัดแสงส่วนเกินออกจากลำแสงโดยการวางขวางเส้นทางการเดินของแสงเหล่านั้น อย่างไรก็ตามเลนส์ตัวที่ 2 จะรวมแสงจากทุกๆจุดของสิ่งที่ทดสอบให้เกิดภาพบนฉากได้ทั้งหมด ลำแสงสองเส้นที่แสดงในรูปที่ 2.1 เส้นหนึ่งถูกหักเหเอียงขึ้นด้านบนอีกเส้นหนึ่งหักเหเอียงลงด้านล่าง ลำแสงทั้งสองเส้นไม่ผ่านจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 ลำแสงเส้นบนจะทำให้จุดจุดหนึ่งบนฉากสว่างขึ้น แต่ลำแสงเส้นล่างถูกมีดตัดแสงบังไว้ ทำให้จุดดังกล่าวที่สว่างบนฉากมืดลงต่อต้านกับการสว่างขึ้น ที่จุดนี้เองความต่างเฟสที่เกิดขึ้นในแนวตั้งจะถูกแปลงภาพที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าให้สามารถมองเห็นได้ โดยปกติแล้วลำแสงที่เกิดขึ้นจริงมีแนวลำแสงมากมายที่หักเหไปในหลายทิศทางเช่นเดียวกับกับลำแสงที่ยกตัวอย่างนี้ ทุกๆลำแสงที่เบี่ยงเบนจะถูกบังไว้ด้วยมีดตัดแสงทำให้เกิดรูปเงาในส่วนต่างๆของสิ่งที่ทดสอบเกิดขึ้นบนฉากที่สว่าง

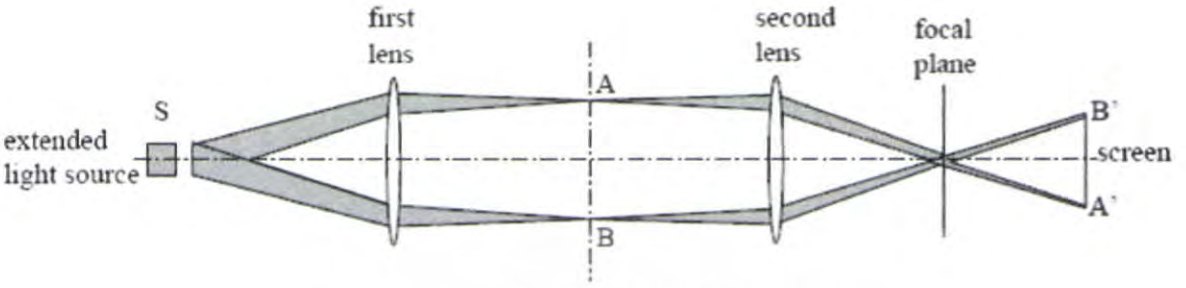
เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับมีดตัดแสงแล้วจะพบว่า มีดตัดแสงในแนวที่แสดงในรูปจะไม่มีผลต่อลำแสงที่เบี่ยงเบนในแนวนอน ดังนั้นการวางแนวของมีดตัดแสง จึงต้องพิจารณา มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในแนวแกนไหนบ้างและต้องการพิจารณาในแนวแกนไหนจึงจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.1 แสดงระบบชูรีเลนน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

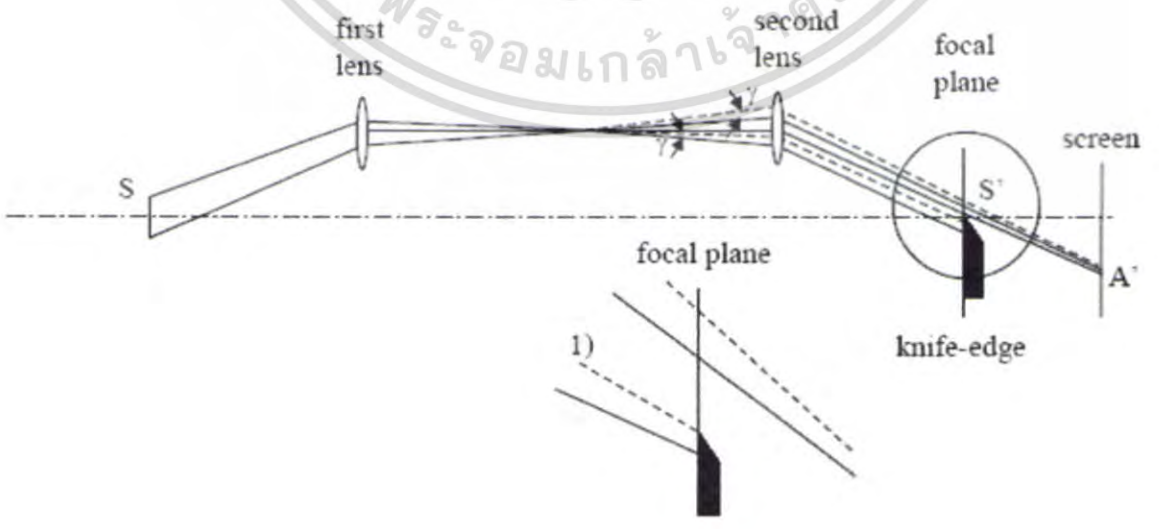
2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงมีขนาด



รูปที่ 2.2 แสดงระบบซูรีเลนน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด

จากรูปทุกๆจุดบน S ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง ลำแสงจะประพฤติตัวค่อนข้างจะเหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด ในระบบแบบนี้ทุกๆจุดในหน้าตัด AB จะได้รับแสงจากแต่ละจุดของแหล่งกำเนิดแสง ยกตัวอย่างเช่น ทุกๆลำแสงที่ผ่านจุด A จะทำให้เกิดภาพบนฉากที่จุด A' ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกๆจุดบนฉากจะได้รับแสงในปริมาณที่เท่ากันจากจุด A ซึ่งหมายความว่าการเกิดรูปบนฉากจะมีความสว่างเท่าๆกันหมด

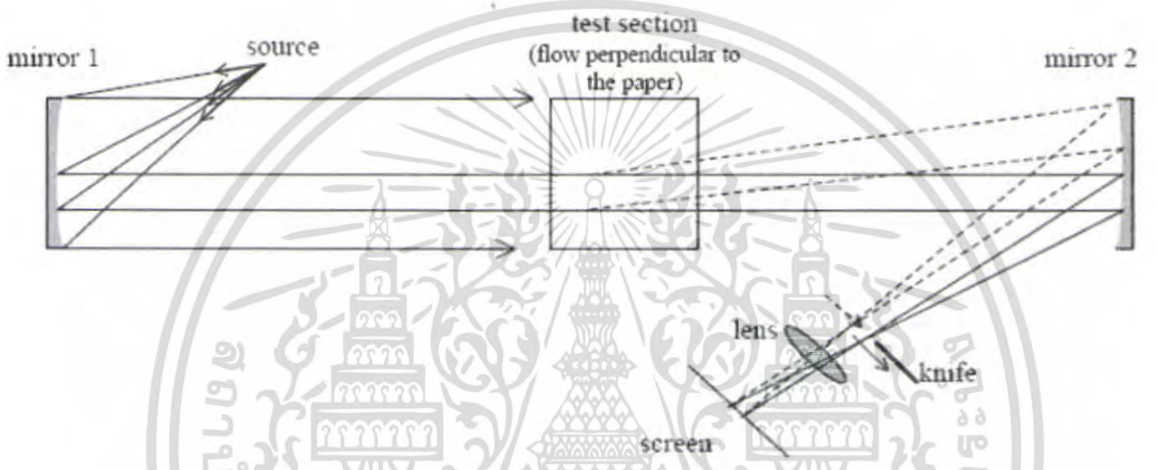
จากภาพสังเกตได้ว่าไม่มีการเบี่ยงเบนของแสง(ช่วงทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น) มีดตัดแสงที่อยู่ในตำแหน่ง โฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 จะตัดบางส่วนของภาพ A' ซึ่งเหตุนี้เองส่งผลให้ภาพที่เกิดขึ้นทุกๆจุดบนฉากจะมีขนาดเล็กกว่าภาพเมื่อไม่มีมีดตัดแสง มีดตัดแสงจะตัดแสงในปริมาณที่เท่าๆกันของภาพทุกๆจุดที่เกิดขึ้นบนฉากทำให้เกิดความสว่างที่เท่าๆกันทั้งภาพ ถ้ามีความหนาแน่นที่ตำแหน่ง S จะลำแสงหักเหผ่านจุด A เราอนุมานได้ว่าทุกๆลำแสงเบี่ยงเบนทำมุมเท่าๆกันเท่ากับ γ ผลที่เกิดขึ้นคือจะมีแสงเพียงส่วนหนึ่งที่กระทบกับมีดตัดแสง และแสงที่ผ่านมีดตัดแสงที่ตำแหน่ง S' มีปริมาณเพิ่มขึ้น การหมุนมีดตัดแสงไป 180 องศารอบแกน จะทำให้จุด S' มีความสว่างน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดและมีดตัดแสง

พิจารณาลำแสง 1) ในรูปที่ 2.3 แนวลำแสงอยู่ในตำแหน่งค่อนข้างเหนือมีดตัดแสงเล็กน้อยแทนที่จะส่องชนมีดตัดแสง ซึ่งหมายความว่าทุกๆลำแสงที่ผ่านจุด A จะตกลงบนฉากทั้งหมดทำให้ภาพที่เกิดขึ้นไม่คมชัดเท่าที่ควร ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของมีดตัดแสงไปตามแนวลำแสง ถ้ามีดตัดแสงเลื่อนไปยังตำแหน่งโฟกัสของเลนส์พอดีจะทำให้ปริมาณแสงเพียงเล็กน้อยที่จะตกลงบนฉากทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมืดลง ผลที่เกิดตามมาคือเราสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงเล็กๆที่เกิดขึ้นในช่วงทดสอบได้จากการเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสงและทำให้ระบบตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างชุดทดลองชูรีเลนน์

ชุดทดลองในรูปที่ 2.4 เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดโดยจะใช้กระจกเว้าเพราะผลิตได้ง่าย ไม่ดูดกลืนแสงหรือสี และ เนื่องจากการผลิตเลนส์ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีจุด Focus ยาวๆนั้นทำได้ยากกว่าการผลิตกระจกเว้ามาก

ในรูปใช้กระจกเว้าบานที่ 1 และกระจกเว้าบานที่ 2 โดยมีความโค้งเป็น Parabola แต่ถ้ากระจกมีขนาดเล็กจะใช้เป็นกระจกโค้งรัศมีวงกลมได้

สำหรับการติดตั้งชุดอุปกรณ์นั้นมุมตกกระทบของกระจกเว้าบานที่ 1 และมุมสะท้อนของกระจกเว้าบานที่ 2 ควรจะมีขนาดเล็กเพื่อป้องกันการผิดเพี้ยนของแสง ซึ่งควรจะเล็กกว่า 7 องศา และระยะห่างระหว่างกระจกเว้าทั้งสองบานควรจะมากกว่า 2 เท่าของความยาวโฟกัส บางครั้งอาจจะนำเอากระจกรูปมาใช้เพื่อย่นระยะทางได้ สำหรับระยะห่างระหว่างกระจกเว้าทั้งสองนั้นควรจะยาวกว่าความยาวโฟกัสของกระจกเว้าบานที่ 2

กระจกเว้าบานที่ 1 และกระจกเว้าบานที่ 2 ควรจะอยู่ในระนาบเดียวกันหันตรงเข้าหากันโดยมีความสมมาตรรอบจุดศูนย์กลางของกระจกทั้ง 2 บาน

การนำเอา Color Filter มาแทน Knife edge ทำให้รูปที่ได้เป็นรูปสี ; Color Schlieren และสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของบริเวณนั้นๆได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบชูรีเลนน์แบบทั่วไป

1. วางกระจกเว้าบานที่ 1 พร้อมกับแหล่งกำเนิดแสง โดยให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ในระยะโฟกัสของกระจกเว้า ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วลำแสงที่สะท้อนออกจากกระจกเว้าผ่านช่วงทดสอบจะเป็นลำแสงขนาน ขนาดภาพที่เกิดขึ้นจะเท่ากันตลอด

2. วางกระจกเว้าบานที่ 2 เพื่อที่จะสะท้อนแนวลำแสงขนานที่มาจากกระจกเว้าบานที่ 1 แนวลำแสงที่สะท้อนจากกระจกเว้าบานทที่ 2 ควรผ่านมีดตัดแสงและเลนส์

3. เลื่อนมีดตัดแสงไปตามแนวลำแสงที่สะท้อนจากกระจกเว้าบานที่ 2 จนได้รูปบนฉากที่ชัด จะสังเกตว่าที่ตำแหน่งนี้ มีดตัดแสงจะอยู่ในระยะโฟกัสของกระจกเว้าบานที่ 2 พอดี

4. หมุนมีดตัดแสงในองศาต่างๆเพื่อดูว่ามีดตัดแสงควรตัดแสงในระนาบไหนที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในส่วนที่ทดสอบมากที่สุด

5. ตรวจเช็คความถูกต้องของระบบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 ว่าลำแสงที่ได้ยังขนานอยู่หรือไม่และตำแหน่งต่างเหมาะสมดีแล้วหรือยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการฉีดน้ำมันดีเซล (Diesel Fuel Injection System)

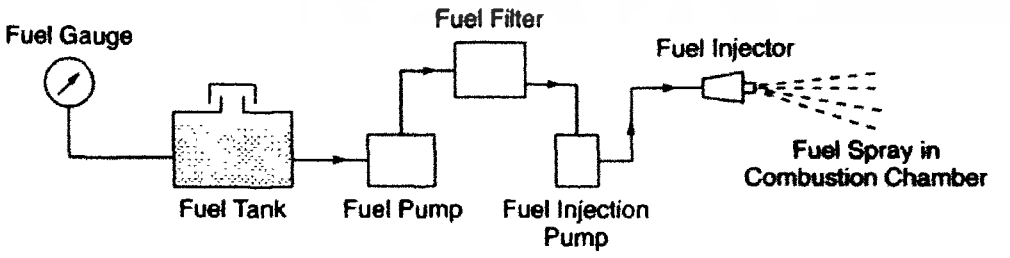
การจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกจ่ายไปยังอากาศซึ่งถูกอัดจนร้อนภายในห้องเผาไหม้ ช่วงระยะเวลาการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงขณะที่ลูกสูบอยู่ในตำแหน่งศูนย์ตายบนนั้นสั้นมาก (ประมาณ 1/1000 วินาที) ซึ่งในขณะนี้เองเชื้อเพลิงจะดูดความร้อนเพื่อใช้ในการกลายเป็นไอและจับตัวกับอากาศเพื่อเกิดการจุดระเบิด ในกระบวนการนี้น้ำมันเชื้อเพลิงต้องอยู่ในรูปละอองฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดความร้อนเพื่อให้สามารถกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆและการทำงานของระบบการฉีดน้ำมัน

3.1 ระบบการฉีดน้ำมัน (Fuel Injection System)

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีนั้น จะต้องมีลักษณะดังนี้

1. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับภาระ (load)
2. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำในหนึ่งรอบของวงจร
3. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราที่ทำให้เกิดการจุดระเบิดที่ค่าความดันคงที่
4. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นละอองฝอยมีการกระจายตัวที่ดี
5. การเริ่มฉีดและการสิ้นสุดการฉีดน้ำมันต้องเป็นไปอย่างฉับพลัน โดยไม่มีการหยดของน้ำมันเชื้อเพลิง

ใน รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงระบบการฉีดน้ำมัน ภายในปั๊มหัวฉีดดีเซล (Injection Pump) จะมีลูกปั๊มอยู่ซึ่งมีช่วงชักสั้นๆ การเคลื่อนที่ของลูกปั๊มแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้การดูดน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจะต้องมีปั๊มสนับสนุนอีกตัวหนึ่ง (Fuel Pump) เพื่อช่วยในการดูดน้ำมัน โดยปกติแล้วตัวกรองน้ำมันจะอยู่ในตำแหน่งเหนือปั๊มหัวฉีด (Injection Pump) น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกอัดภายในปั๊มหัวฉีด (Injection Pump) โดยลูกปั๊มทำให้เกิดความดันขึ้นเพื่อใช้ในการฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้



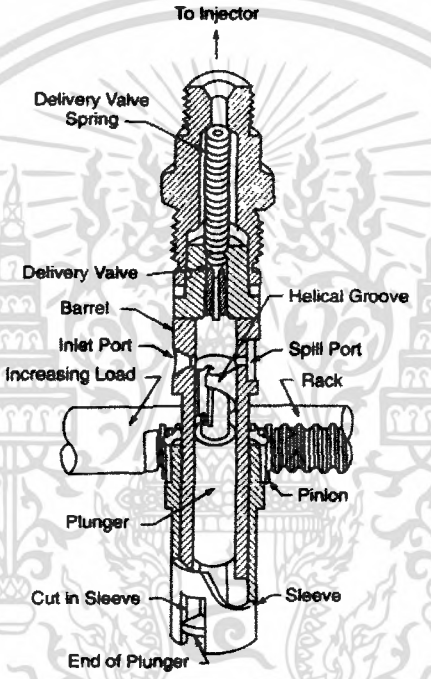
รูปที่ 3.1 แสดงระบบการฉีดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 ระบบการฉีดน้ำมันประกอบด้วย ถังน้ำมันเชื้อเพลิงพร้อมด้วยเกจวัดระดับน้ำมัน, ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Pump) จะดูดน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมันแล้วจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไปยังตัวกรองน้ำมัน (Fuel Filter) ซึ่งติดตั้งอยู่ในระดับเหนือปั๊มหัวฉีดดีเซล (Injection Pump) ปั๊มหัวฉีดดีเซลจะสร้างความดันขึ้นแล้วจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความดันไปยังหัวฉีดน้ำมัน (Injector) สำหรับหัวฉีดน้ำมันนั้นอาจเป็นแบบหัวฉีดรูเดียวหรือหลายรู ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกจากรูนี้ด้วยความเร็วสูงและมีลักษณะเป็นละอองฝอย

3.2 ปั๊มหัวฉีดดีเซล (Diesel Fuel Injection Pump)

รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของปั๊มหัวฉีดดีเซล จะสังเกตได้ว่าปั๊มหัวฉีดดีเซลโดยทั่วไปแล้วจะมีร่องเกลียวเฉียงในลูกปั๊ม ลูกปั๊มจะเคลื่อนที่ขึ้นลงไปมาตามจังหวะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวซึ่งถูกขับโดยเพลาลูกเบี้ยว



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของปั๊มหัวฉีดดีเซลทั่วไป

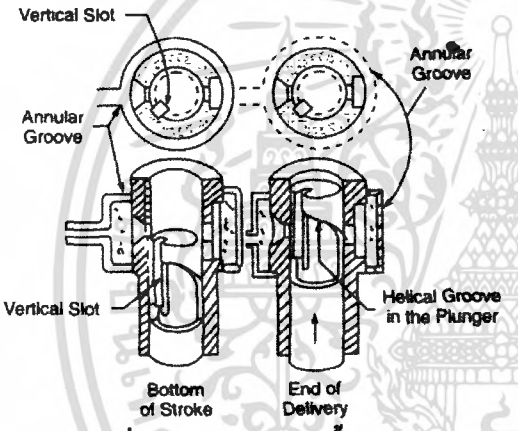
การเลื่อนเข้าของลูกปั๊มจะเกิดจากการที่สปริงดันตัวกลับ โดยทั่วไปปั๊มหัวฉีดดีเซลจะประกอบด้วยลูกปั๊มและกระบอกปั๊ม ตำแหน่งของกระบอกปั๊มจะถูกยึดไว้อยู่กับที่ด้วยสลักเกลียว ลูกปั๊มนอกจากจะเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้วยังสามารถหมุนได้โดยเฟืองจักรขนาดเล็ก (Pinion) เหล็กสับเฟือง (Rack) จะติดอยู่กับกัฟเวอร์เนอร์ (Governor) ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนตำแหน่งของเหล็กสับเฟืองกับเฟือง ทำให้ตำแหน่งร่องเกลียวของลูกปั๊มเคลื่อนที่สัมพันธ์กับกระบอกปั๊ม กระบอกปั๊มจะมีช่องสำหรับให้น้ำมันเข้า (Inlet Port) และช่องล้น (Spill Port) เมื่อลูกปั๊มเคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งศูนย์ตายล่าง น้ำมันจะถูกดูดเข้ามาภายในกระบอกปั๊ม เมื่อลูกปั๊มเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นเนื่องจากการหมุนของลูกเบี้ยว น้ำมันเชื้อเพลิงส่วนที่เกินจะทะลักออกทางช่องเข้าและช่องล้น เมื่อลูกปั๊มเคลื่อนที่ขึ้นมาถึงจุดหนึ่งช่องเข้าและช่องล้นนี้จะถูกปิดโดยตัวลูกปั๊มจะมีน้ำมันเชื้อเพลิงปริมาณเล็กน้อยค้างอยู่ภายในกระบอกปั๊ม ยิ่งลูกปั๊มเคลื่อนที่ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านั้นก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อมีความดันถึงระดับที่กำหนดไว้น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลจากปั๊มดีเซลไปยังหัวฉีดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

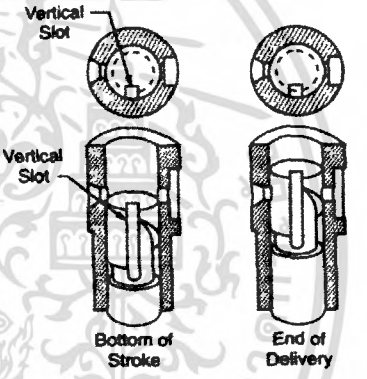
ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของร่องเกลียวเฉียงภายในปั๊มดีเซล ขณะที่ช่องล้นเปิดออกหลังจากการถูกปิดโดยร่องเกลียวเฉียง น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งถูกอัดจะไหลกลับเข้ามาภายในร่องเกลียวและมีความดันลดลงซึ่งส่งผลให้การฉีดน้ำมันหยุดลง

ในรูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่ง 2 ตำแหน่งของลูกปั๊ม เมื่อลูกปั๊มอยู่ในตำแหน่งศูนย์ตายล่าง น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้ามาภายในกระบอกปั๊มทางช่องเข้า (Inlet Port)

ช่องน้ำมันเข้า (Inlet Port) และช่องล้น (Spill Port) จะเชื่อมต่อกันด้วยร่องวงแหวน (Annular Groove) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ณ ตำแหน่งที่ลูกปั๊มเคลื่อนที่ขึ้น ช่องล้นจะถูกปิดโดยร่องเกลียวเฉียง (Helical Groove) ของลูกปั๊มที่ตำแหน่งนี้เป็นจังหวะสิ้นสุดการจ่ายน้ำมัน (การฉีดน้ำมัน) ขณะลูกปั๊มเคลื่อนกำลังที่ต่อไปตามการหมุนของลูกเบี้ยวจังหวะนี้จะเป็นการเริ่มการฉีดน้ำมัน เวลาการสิ้นสุดการฉีดน้ำมันจะขึ้นอยู่กำตำแหน่งของร่องเกลียวเฉียง



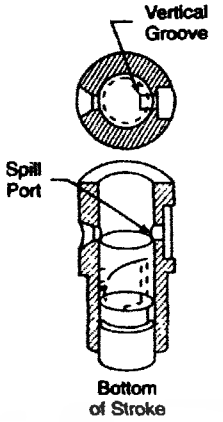
รูปที่ 3.3 แสดงการจ่ายน้ำมันสูงสุด



รูปที่ 3.4 แสดงการจ่ายน้ำมันปกติ

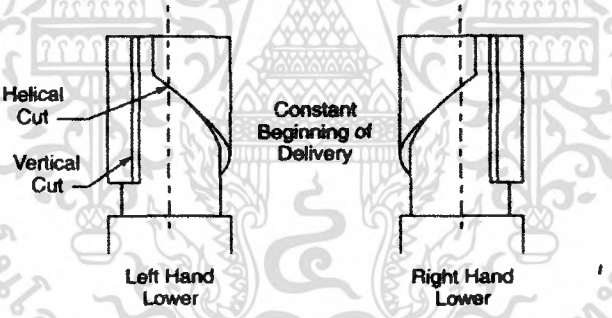
ในรูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของลูกปั๊ม ซึ่งเปลี่ยนไปโดยการหมุนของลูกปั๊มด้วยเหล็กสับเฟืองกับเฟือง จากรูปสังเกตได้จากตำแหน่งของ Vertical Slot แสดงให้เห็นว่าลูกปั๊มมีการหมุนตัว ในรูปที่ 3.4 จะสังเกตได้ว่าช่องล้น (Spill Port) จะถูกเปิดเร็วกว่าในรูปที่ 3.3 ซึ่งหมายความว่าการจ่ายน้ำมันจะสิ้นสุดเร็วกว่าและมีปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้น้อยกว่าด้วย ในกรณีนี้จะเหมาะสมมากเมื่อมีภาระของเครื่องยนต์ลดลง การปรับตัวของลูกปั๊มเป็นไปอย่างอัตโนมัติและยังสามารถรักษาอัตราการหมุนของเครื่องยนต์ให้คงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการจ่ายน้ำมันเป็นศูนย์

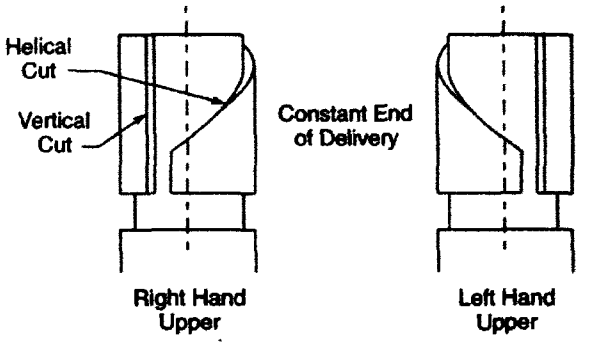
ในรูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของลูกปั๊มซึ่งถูกหมุนต่อไปโดยกัฟเวอร์เนอร์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่รอบสูง กัฟเวอร์เนอร์จะดึง เหล็กสับเฟืองไปทางซ้ายและหมุนเฟืองซึ่งส่งผลทำให้ลูกปั๊มหมุน ในรูปที่ 3.5 vertical slot ของลูกปั๊มอยู่ตรงกับช่องล้น น้ำมันภายในกระบอกปั๊มจะล้นออกในจังหวะที่ลูกปั๊มเลื่อนขึ้นเพราะช่องไม่ถูกลูกปั๊มปิดบัง และเนื่องจากการที่น้ำมันไม่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้จึงไม่มีการเริ่มต้นของวงจรเทอร์โมไดนามิค



รูปที่ 3.6 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียง

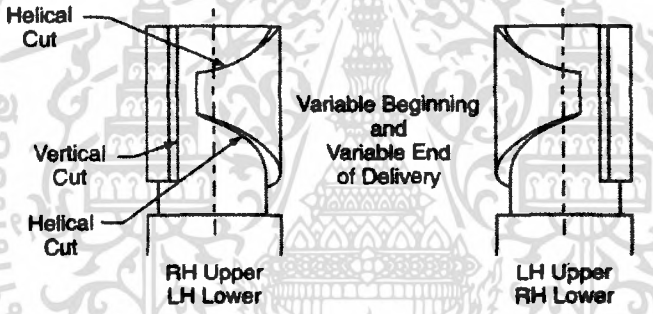
ในรูปที่ 3.6 เป็นรูปขยายของร่องเกลียวเฉียงภายในลูกปั๊ม ในลูกปั๊มแบบนี้การฉีดน้ำมันจะเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่คงที่ของเพลาข้อเหวี่ยง แต่การสิ้นสุดการฉีดนั้นจะเปลี่ยนไปเรื่อยโดยจะเปลี่ยนมากขึ้นเมื่อมีภาระมากขึ้น เมื่อมีภาระรอบของเครื่องยนต์จะต่ำลง กัฟเวอร์เนอร์จะเปลี่ยนตำแหน่งของเหล็กสับเฟืองกับเฟืองที่หมุนอยู่ภายในลูกปั๊ม เพื่อให้ประสิทธิภาพในการฉีดน้ำมันของปั๊มเพิ่มขึ้น แต่ปั๊มแบบนี้ไม่สามารถปรับให้ฉีดแบบอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียงแบบ automatic advance

ในรูปที่ 3.7 แสดงลูกปั๊มที่มีหน้าตัดเฉียงอีกรูปแบบหนึ่ง ทำให้จังหวะขึ้นลงของลูกปั๊มมีประสิทธิภาพขึ้น สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้นเมื่อมีภาระมากขึ้น การออกแบบลูกปั๊มแบบนี้นอกจากทำให้การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ยังทำให้การสิ้นสุดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในตำแหน่งที่คงที่ด้วย

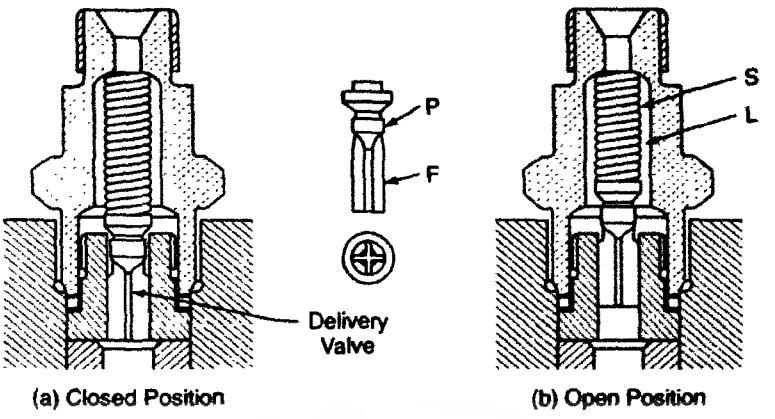


รูปที่ 3.8 แสดงลูกปั๊มชนิดมีหน้าตัดเฉียงที่ขอบทั้งสองด้าน

จากรูปที่ 3.8 ร่องของลูกปั๊มมีหน้าตัดเฉียงที่ขอบทั้งส่วนบนและส่วนล่าง ลูกปั๊มแบบนี้ทำให้การฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นตามภาระ และยังส่งผลให้ระยะเวลาการฉีดน้ำมันนานขึ้น

ในรูปที่ 3.9 แสดงลิ้นจ่ายน้ำมันภายในปั๊มหัวฉีดดีเซลที่ตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิด ลิ้นจ่ายน้ำมันจะอยู่ในตำแหน่งทางออกของปั๊ม ลิ้นจ่ายน้ำมันแบบนี้ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถรักษาความดันภายในท่อน้ำมันและสามารถหยุดการฉีดน้ำมันได้อย่างฉับพลันเพื่อไม่ให้เกิดการหยดของน้ำมันภายในห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงลิ้นจ่ายน้ำมัน

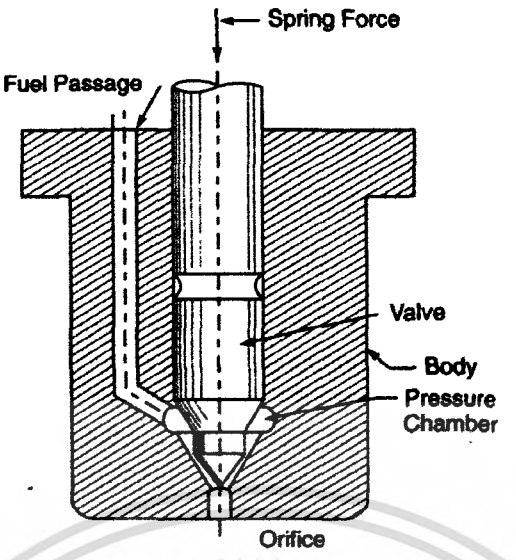
เมื่อความดันภายในกระบอกปั๊มสูงขึ้น ลิ้นจ่ายน้ำมันจะถูกดันขึ้นต้านแรงต้านทานของสปริง S ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ภายในลิ้นจ่ายน้ำมันจะมีลูกสูบ P และท่อ F ลูกสูบ P จะทำให้ของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีการไหลเกิดขึ้น จนกระทั่งท่อ F ถูกเปิดออก น้ำมันที่ถูกอัดตัวจะไหลจากปั๊มไปยังหัวฉีดผ่านทางเส้นปล่อยออก L

เมื่อความดันลดลง สปริง S จะดันลิ้นจ่ายน้ำมันกลับไปยังบ่าลิ้น ในขณะเดียวกันที่ลูกสูบ P เคลื่อนที่ลงกลับตำแหน่งปิดดังแสดงในรูปที่ 3.9 (Closed Position) ส่งผลให้ปริมาตรน้ำมันที่อยู่ในท่อปล่อยออกเพิ่มขึ้น และมีความดันลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ลิ้นจ่ายน้ำมันปิด ดังนั้นถึงจะฉีดน้ำมันที่ความดันต่ำก็จะไม่เกิดการหยดของน้ำมัน การปิดของลิ้นจ่ายน้ำมันนั้นไม่ได้ทำให้ความดันลดลงจนหมดไปซะทีเดียว ความดันที่หลงเหลืออยู่ในท่อน้ำมันมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้ลิ้นจ่ายน้ำมันภายในหัวฉีดเปิดได้ ความดันที่หลงเหลืออยู่ในท่อน้ำมันทำให้ปั๊มหัวฉีดสามารถเพิ่มความดันได้อย่างรวดเร็วขึ้นในจังหวะฉีดน้ำมันครั้งต่อไป

3.3 หัวฉีดน้ำมันดีเซล

หัวฉีดน้ำมันมีไว้สำหรับทำให้น้ำมันกลายเป็นละอองฝอยและใช้กำหนดทิศทางของละอองน้ำมันเหล่านั้น ทำให้ละอองน้ำมันทุกส่วนสามารถจับตัวกับอากาศได้ซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การทำน้ำมันให้เป็นละอองที่ไม่ดีและมีการกระจายตัวที่ไม่ดีจะลดประสิทธิภาพของการสันดาปและทำให้ใช้เวลาการสันดาปนานขึ้น ส่วนประกอบหลักของหัวฉีดน้ำมันก็คือตัวหัวฉีด รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบของหัวฉีดน้ำมัน ประกอบด้วยลิ้นพร้อมด้วยสปริง ซึ่งแรงดันสปริงที่กระทำต่อลิ้นนั้นสามารถปรับได้ แรงดันจากสปริงจะช่วยไม่ให้ก๊าซภายในกระบอกสูบเข้าสู่ระบบการฉีดน้ำมันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงหัวฉีดน้ำมัน

ภายในหัวฉีดน้ำมันจะมีห้องความดันสำหรับรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกอัดจากปั๊ม ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงจะดันขดสปริงขึ้นด้านแรงต้านทานภายในสปริง เมื่อแรงดันของน้ำมันมีค่ามากกว่าแรงต้านทานของสปริง ลิ้นจ่ายน้ำมันจะเปิดออกน้ำมันจะไหลออกผ่านรูด้วยความเร็วสูงเข้าไปยังห้องเผาไหม้ น้ำมันที่ไหลนั้นจะอยู่ในรูปละอองฝอย องศาของละอองฝอยน้ำมันที่ฉีดออกจะขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงกับความดันภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งหมายความว่าน้ำมันเชื้อเพลิงจะหยดที่จังหวะสิ้นสุดการฉีดน้ำมันของลูกปั๊ม(ที่จังหวะสิ้นสุดการฉีดน้ำมันจะมีความดันลดลง) อย่างไรก็ตามเราสามารถหลีกเลี่ยงการหยดของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ด้วยการการออกแบบลูกสูบ P ภายในวาล์วจ่ายน้ำมัน ลูกสูบ P จะเพิ่มปริมาตรของท่อฉีดน้ำมันทำให้เกิดการลดลงอย่างรวดเร็วของความดันที่ปลายท่อ ส่งผลให้ลิ้นหัวฉีดปิดลงอย่างกะทันหันด้วยแรงของสปริง ทำให้สามารถหยุดการฉีดน้ำมันโดยไม่เกิดการหยดของน้ำมันได้

รูปร่างของสเปรย์น้ำมัน

เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดจะไหลออกจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูง สายของน้ำมันที่พุ่งออกมาจะถูกฉีกออกด้วยแรงต้านของอากาศภายในห้องเผาไหม้ น้ำมันจะกลายเป็นหยดละอองด้วยแรงตึงผิว แรงต้านของอากาศจะทำให้ความเร็วของหยดละอองของน้ำมันจะลดลงอย่างรวดเร็ว แรงหนืดของหยดละอองน้ำมันจะดึงโมเลกุลของอากาศทำให้เกิดสุญญากาศบางส่วนที่ด้านหลัง ส่งผลให้แกนกลางของน้ำมันที่ถูกฉีดออกเคลื่อนที่ต่อไปและค่อยๆ กลายเป็นละอองฝอยจนน้ำมันที่ฉีดออกทั้งหมดเป็นละอองฝอย

การทำให้น้ำมันเป็นละอองฝอยนั้นสำคัญมากเพราะจะเป็นการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของน้ำมัน และยังทำให้น้ำมันสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว การสันดาปของน้ำมันขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่มีอยู่ เมื่อน้ำมันอยู่ในรูปละอองฝอย พลังงานจลน์ของน้ำมันจะลดลง ระยะทางที่น้ำมันจะเคลื่อนที่ไปได้ภายในห้องเผาไหม้ก็จะลดลงด้วย ด้วยเหตุผลนี้หากทำให้น้ำมันเป็นฝอยมากที่บริเวณรอบๆหัวฉีดการเผาไหม้จะเกิดได้อย่างไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากการขาดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของละอองน้ำมันนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. *ความดันในการฉีดน้ำมัน* การเพิ่มแรงดันในการฉีดน้ำมันทำได้โดยการกดสปริงที่อยู่เหนือลิ้นจ่ายน้ำมันภายในหัวฉีด การเพิ่มความดันในการฉีดน้ำมันจะทำให้องศาของละอองน้ำมันที่ฉีดออกเพิ่มขึ้น

2. *ความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด* ยิ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างก็จะยิ่งลดองศาของละอองน้ำมัน และยังทำให้การระยะทางของละอองน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย

3. *ความเร็วของน้ำมัน* การเพิ่มความเร็วของน้ำมันที่ฉีดออก จะทำให้องศาของละอองน้ำมันลดลง และหยดละอองน้ำมันจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

4. *รูปแบบของลิ้นหัวฉีด* หัวฉีดที่มีลิ้นหัวฉีดขนาดใหญ่จะทำให้เกิดละอองน้ำมันในรูปกรวยที่มีระยะทางสั้นแต่จะทำให้น้ำมันเป็นละอองฝอยได้ดี หัวฉีดแบบนี้ใช้ในห้องเผาไหม้ก่อนซึ่งไม่ต้องการระยะทางของละอองน้ำมันที่ฉีดออก

หัวฉีดแบบหลายรูจะมีรูหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก มีแรงต้านสูงทำให้เกิดละอองน้ำมันเป็นรูปพุ่มที่บริเวณใกล้กับหัวฉีด หัวฉีดชนิดนี้ต้องการอากาศที่หมุนภายในห้องเผาไหม้ในการกระจายตัว การเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำมันกับอากาศที่สัมพันธ์กันจะช่วยให้เกิดการสันดาปที่ดีขึ้นเนื่องจากสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสันดาปที่อยู่รอบๆหยดละอองน้ำมันจะถูกกำจัดและแทนที่ด้วยอากาศดี หัวฉีดที่มีรูหัวฉีดขนาดเล็กมักจะอุดตันโดยอนุภาคของคาร์บอนซึ่งเป็นจะส่งผลทำให้รูปร่างของสเปรย์น้ำมันมีลักษณะผิดไปจากเดิมหรือรูหัวฉีดถูกปิดสนิท การจะกำจัดอนุภาคคาร์บอนที่ฝังติดแน่นเหล่านี้นั้นทำได้ยาก

3.4 กัฟเวอร์เนอร์ (Governor)

กัฟเวอร์เนอร์มีหน้าที่หลักคือการควบคุมการจ่ายน้ำมันโดยอาศัยกลไกในการควบคุมให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด เมื่อเพิ่มภาระจะทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำลง กัฟเวอร์เนอร์เป็นกลไกควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยกัฟเวอร์เนอร์จะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงในการฉีดน้ำมันซึ่งจะส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์ได้เพิ่มขึ้น เมื่อภาระของเครื่องยนต์ลดลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลง กลไกของกัฟเวอร์เนอร์จะลดปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงลง

หากปราศจากกัฟเวอร์เนอร์ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาระในปริมาณที่น้อยกว่าความเครียดจลน์ที่เกิดขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์ได้รับความเสียหาย ดังนั้นกัฟเวอร์เนอร์จึงเป็นกลไกสำคัญที่จะช่วยรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ในขอบเขต

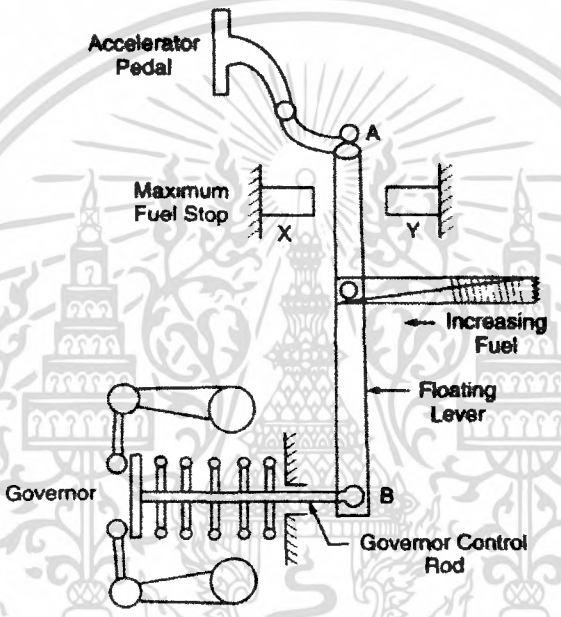
กัฟเวอร์เนอร์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. กัฟเวอร์เนอร์แบบควบคุมแรงบิด
2. กัฟเวอร์เนอร์ลม
3. กัฟเวอร์เนอร์ไฮดรอลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.11 แสดงกัฟเวอร์เนอร์แบบควบคุมแรงบิด AB เป็นคานที่ลอยอยู่ คันเร่งจะติดอยู่ที่ส่วนปลาย A คันบังคับกัฟเวอร์เนอร์จะติดอยู่กับส่วนปลาย B และมารางฟันเฟืองติดอยู่กับคาน AB การเคลื่อนที่ของคาน AB จะดึงหรือดันรางฟันเฟืองทำให้กลไกของปั๊มหัวฉีดทำงาน กัฟเวอร์เนอร์ที่ติดอยู่จะหมุนตามเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์

เมื่อมีภาระเพิ่มขึ้นความเร็วรอบของเพลาข้อเหวี่ยงจะลดลง ปลาย B ของคานจะเคลื่อนไปทางด้านซ้าย รางฟันเฟืองจะถูกดึงทำให้ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นในเครื่องยนต์และความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อเครื่องยนต์มีภาระลดลงความเร็วรอบของเพลาข้อเหวี่ยงจะเพิ่มขึ้น ปลาย B ของคานจะเคลื่อนไปทางด้านขวา ทำให้รางฟันเฟืองถูกดัน ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงจะลดลงและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะลดลง



รูปที่ 3.11 แสดงกัฟเวอร์เนอร์แบบควบคุมแรงบิด

ขณะที่สตาร์ทรถคาน AB จะสัมผัสกับที่กั้น Y เครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบสูงสุดเมื่อคานสัมผัสกับที่กั้น X ดังแสดงในรูป

สำหรับกัฟเวอร์เนอร์ลม ความดันในท่อไอดีของเครื่องยนต์จะส่งไปยังหัวลูกสูบ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความดันในท่อไอดี การเคลื่อนที่ของลูกสูบจะทำหน้าที่เป็นกลไกควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้เกิดการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้

สำหรับกัฟเวอร์เนอร์ไฮดรอลิค จะใช้ปั๊มที่ใช้เกียร์ในการปั๊มของไหลที่ความดันคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของปั๊ม เช่น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ความเร็วของปั๊มจะเปลี่ยนไปด้วยซึ่งจะส่งผลให้ความดันของของไหลเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลนี้จะเป็นกลไกควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้สามารถควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4
น้ำมันดีโซฮอล์ (Diesohol)

ดีโซฮอล์ คือน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลและสารเติมแต่ง ซึ่งสารเติมแต่งจะเป็นสารประเภทอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) เพื่อทำให้สารตั้งต้นทั้งสองผสมกันได้ดี ในประเทศไทยเริ่มมีการทดลองใช้น้ำมันดีโซฮอล์โดยการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยร่วมกับโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ครั้งแรกในปี 2541 ทดลองผสมแอลกอฮอล์ 95% กับน้ำมันดีเซล และสาร อีมัลซิไฟเออร์ ในอัตราส่วน 14 : 85 : 1 แล้วนำดีโซฮอล์ไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเช่น รถกระบะและรถแทรกเตอร์ของโครงการส่วนพระองค์ฯ ซึ่งผลการทดลองพบว่า สามารถใช้ดีโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงได้ดีพอสมควร และสามารถลดปริมาณควันดำได้ร้อยละ 50

สำหรับในต่างประเทศพบว่ามีการใช้ในประเทศแถบยุโรป สหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย โดยเรียกชื่อว่า E-diesel ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันดีเซลร้อยละ 88 เอทานอลร้อยละ 10 และสารเติมแต่งอีกร้อยละ 2 ส่วนในบราซิลได้เริ่มทดสอบที่ส่วนผสมเอทานอลร้อยละ 3 ปัจจุบันกำลังศึกษาการผสมเอทานอลร้อยละ 7 ในน้ำมันดีเซลเนื่องจากมีผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าอัตราส่วนดังกล่าวไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์

ความนิยมใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลนั้นไม่แพร่หลาย เนื่องจากเหตุผลทางเทคนิค คือ หากผสมเอทานอลในสัดส่วนที่สูง จะมีผลให้คุณภาพจุดวาบไฟ (Flash Point) ของน้ำมันต่ำ ทำให้ติดไฟง่ายต้องมีการลงทุนปรับปรุงระบบการจัดเก็บน้ำมันเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความปลอดภัย นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการแยกชั้นจากกันของเอทานอลและน้ำมันดีเซล โดยปัจจุบันนี้มีการวิจัยพัฒนาสารเติมแต่งเพื่อใช้ผสมแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งที่จริงไบโอดีเซลก็จัดเป็นสารเติมแต่งประเภทนี้ด้วยเช่นกัน

4.1 การผสมดีโซฮอล์

โดยปกติแล้วน้ำมันดีเซลกับแอลกอฮอล์ไม่สามารถจะผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวได้ ดังนั้นการผสมดีโซฮอล์จึงต้องการสารเติมแต่งมาผสมเพื่อช่วยในการรวมตัวของน้ำมันดีเซลกับแอลกอฮอล์

การผสมดีโซฮอล์โดยทั่วไปทำได้ 2 วิธีคือ

1. *อิมัลชัน* เมื่อใช้แอลกอฮอล์ไม่บริสุทธิ์ (เช่น เอทานอล 95% น้ำ 5% เป็นต้น) วิธีการผสมจะต้องใช้สารตัวกลางช่วยทำให้แอลกอฮอล์ละลายในน้ำมันได้ สารตัวกลางนี้จะทำให้อนุภาคของหยดน้ำภายในแอลกอฮอล์ลอยตัวขึ้น เนื่องจากการที่น้ำมันดีเซลไม่สามารถละลายกับแอลกอฮอล์ได้ จึงต้องใช้การเขย่าในการผสมเพื่อให้เกิดการอิมัลชัน
2. *ใช้สารทำละลาย* เมื่อใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (เช่น เอทานอล 100% เป็นต้น) วิธีการผสมจะใช้สารทำละลายเพื่อทำให้แอลกอฮอล์สามารถละลายในน้ำมันดีเซลได้ สารทำละลายที่ใช้ต้องสามารถละลายได้ทั้งในน้ำมันดีเซลและในแอลกอฮอล์ สารประกอบของแอลกอฮอล์ น้ำมันดีเซล และสารทำละลาย จะทำให้เกิดสารละลายที่แท้จริงขึ้น การผสมของแอลกอฮอล์บริสุทธิ์กับน้ำมันดีเซลจะเกิดการแยกชั้นได้ง่ายเนื่องจากมีน้ำ การเติมสารแยกน้ำออกจากน้ำมันเพื่อให้น้ำทั้งหมดแยกตัวออกจากสารละลาย โดยส่วนใหญ่แล้วสัดส่วนการผสมของดีโซฮอล์จะใช้แอลกอฮอล์ 10-15% ผสมกับน้ำมันดีเซล 85-90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
81759

4.2 ผลกระทบจากการใช้ดีโซฮอล์

เนื่องมากจากการที่ดีโซฮอล์มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ทำให้มีส่วนที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลได้แก่

- มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการสันดาปของน้ำมัน
- มลพิษจากท่อไอเสียและการทำงานของเครื่องยนต์
- การเก็บรักษาน้ำมัน

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงผลกระทบโดยทั่วไปที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีโซฮอล์

สารที่ปล่อยออกจากท่อไอเสีย

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้ว ดีโซฮอล์สามารถลดการปล่อยเขม่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีผลเล็กน้อยต่อปริมาณ NOx ดีโซฮอล์อาจลดหรือเพิ่มสารไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมของดีโซฮอล์

เขม่า (Particulate Matter, PM)

การเติมแอลกอฮอล์มีผลให้สามารถลดเขม่าของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลได้ โดยน้ำมันดีโซฮอล์ที่มีสัดส่วนของแอลกอฮอล์ 15% สามารถลดปริมาณเขม่าได้ถึง 30-35% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สารจำพวกเขม่ามีผลต่อสุขภาพของคนเรา ดังนั้นการลดปริมาณเข่มาที่ปล่อยออกจากรถยนต์จึงเป็นผลประโยชน์หลักที่ได้จากการใช้น้ำมันดีโซฮอล์

ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx)

จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเข่มาและ NOx เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าถ้าลดตัวใดตัวหนึ่งลงก็จะส่งผลให้อีกตัวหนึ่งเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองน้ำมันดีโซฮอล์ส่วนใหญ่พบว่านอกจากจะลดปริมาณเขม่าได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังสามารถลดปริมาณ NOx ได้เล็กน้อยด้วย

ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จะพบว่าการใช้ดีโซฮอล์จะทำให้มีสารไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกเพิ่มขึ้น

สารเรือนกระจก

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้ว ดีโซฮอล์มีสามารถในการลดสารเรือนกระจกที่ปล่อยออกได้ 6-7%

การทำงานของเครื่องยนต์

การผสมกับแอลกอฮอล์จะทำให้กำลังสูงสุดลดลงและสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น

กำลังสูงสุดและปริมาณการใช้น้ำมัน

เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นสารที่ให้พลังงานน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ตัวอย่างเช่น แอนไฮดรัสเอทานอล และเอ-ทานอล 95% จะให้พลังงาน 20.6 และ 19.41 MJ/L ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันดีเซลให้พลังงานถึง 35.70 MJ/L การให้พลังงานที่น้อยของแอลกอฮอลีส่งผลให้กำลังสูงสุดที่ได้ลดลงและต้องใช้ปริมาณน้ำมันมากขึ้น

ความดันไอน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมากจากดีโซฮอล์มีความดันไอน้ำมันมากอาจทำให้เกิด vapor lock ในระบบปั๊มได้ ทำให้ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อแก้ปัญหานี้

การเก็บรักษา

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเก็บรักษาดีโซฮอล์คือความปลอดภัย เนื่องมากจากน้ำมันดีโซฮอล์มีจุดวาบไฟที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และยังมีปัญหาในเรื่องความไม่เสถียรในระยะยาว

จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟคืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันเป็นปริมาณมากพอและเมื่อสัมผัสเปลวไฟก็จะลุกไหม้ทันที การเติมแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซลทำให้จุดวาบไฟต่ำลง โดยทั่วไปดีโซฮอล์มีจุดวาบไฟที่ 11 และ 13 องศาเซลเซียสเมื่อผสมด้วยเมทานอลและเอทานอลตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันดีเซลที่ใช้ในรถยนต์มีจุดวาบไฟที่ 61.5 องศาเซลเซียส การลดต่ำลงของจุดวาบไฟนี้ทำให้น้ำมันดีโซฮอล์มีพฤติกรรมเหมือนกับน้ำมันเบนซิน

การที่มีจุดวาบไฟต่ำและความดันไอน้ำมันสูงของดีโซฮอล์มีผลต่อการเก็บรักษา แอลกอฮอล์บริสุทธิ์จะทำให้เกิดของผสมที่มีความสามารถในการลุกติดไฟได้ภายในถังน้ำมัน ดีโซฮอล์มีความดันไอน้ำมันใกล้เคียงกับแอลกอฮอล์บริสุทธิ์และสามารถลุกติดไฟภายในถังน้ำมันได้ ดังนั้นถังน้ำมันที่จะใช้ในการกักเก็บน้ำมันดีโซฮอล์จึงต้องมีคุณสมบัติที่รองรับปัญหาเหล่านี้ได้

ความเสถียรของน้ำมันดีโซฮอล์

น้ำมันดีโซฮอล์ที่มีอัตราส่วนการผสมต่างกันจะมีความเสถียรไม่เหมือนกันและอาจเกิดการแยกชั้นได้ การผสมน้ำมันดีโซฮอล์โดยการใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์และใช้สารเติมแต่งที่ดีจะช่วยให้น้ำมันดีโซฮอล์มีความเสถียรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สำหรับการทดลอง ชุดอุปกรณ์ทดลองต่างๆที่ใช้นั้นแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ชุดการถ่ายภาพเสปรย์น้ำมันซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ Schlieren และกล้องบันทึกวิดีโอ ชุดการฉีดน้ำมันซึ่งประกอบด้วยชุดปั๊มดีเซลและมอเตอร์ที่ใช้ในการขับปั๊มดีเซล และชุดทดสอบซึ่งประกอบด้วยห้องเผาไหม้จำลอง ถังแก๊สไนโตรเจน และแวดคัมปั๊ม ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์ Schlieren ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

   1.1. Battery (Power Supply)

   1.2. Light Source- Xenon Lamp
   - Power 200 W
   - Current 15 A

   1.3. Concave Mirror
   - 2 concave mirrors
   - Diameter 200 mm
   - Focus Length 3960 mm

   1.4. Reflect Mirror
   - 2 reflect mirrors
   - Size 150x200 mm

   1.5. Knife Edge System - Itou Koken's Knife Edge System (Itou Koken Co. ,Ltd. Japan)

2. Motor

3. Pump -Bosch Inline Pump

4. Vacuum Pump

5. Injector

6. Combustion Chamber Model

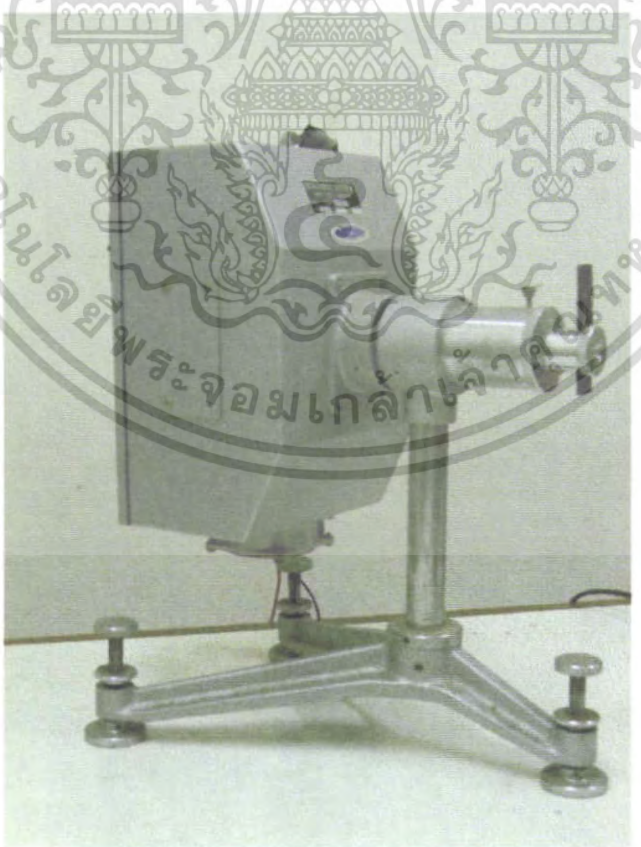
7. Nitrogen Tank

8. Digital VDO Camera - Sony Handycam (3.0 Mega Pixels, 120X Digital Zoom)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

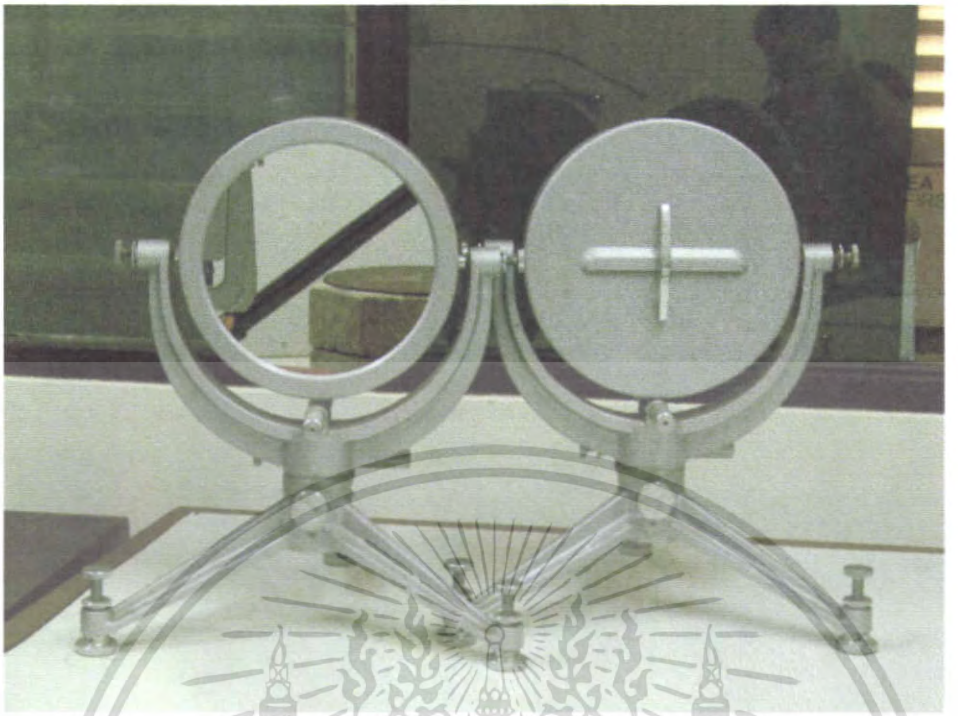
รูปชุดอุปกรณ์ Schlieren

รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของแบตเตอรี่ (Power Supply)

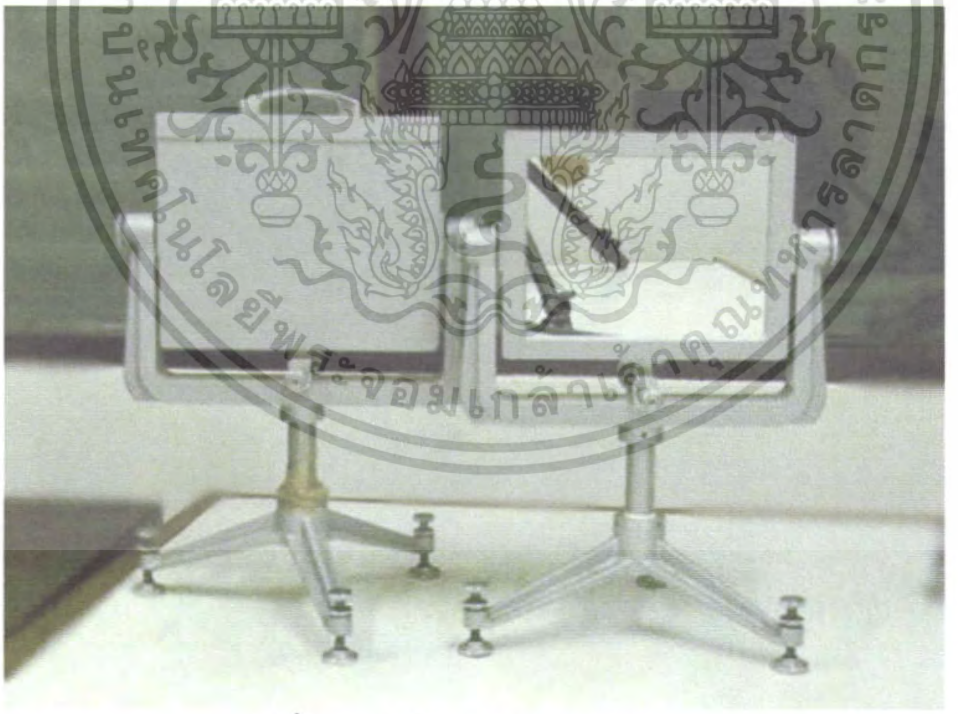


รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของ Light Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

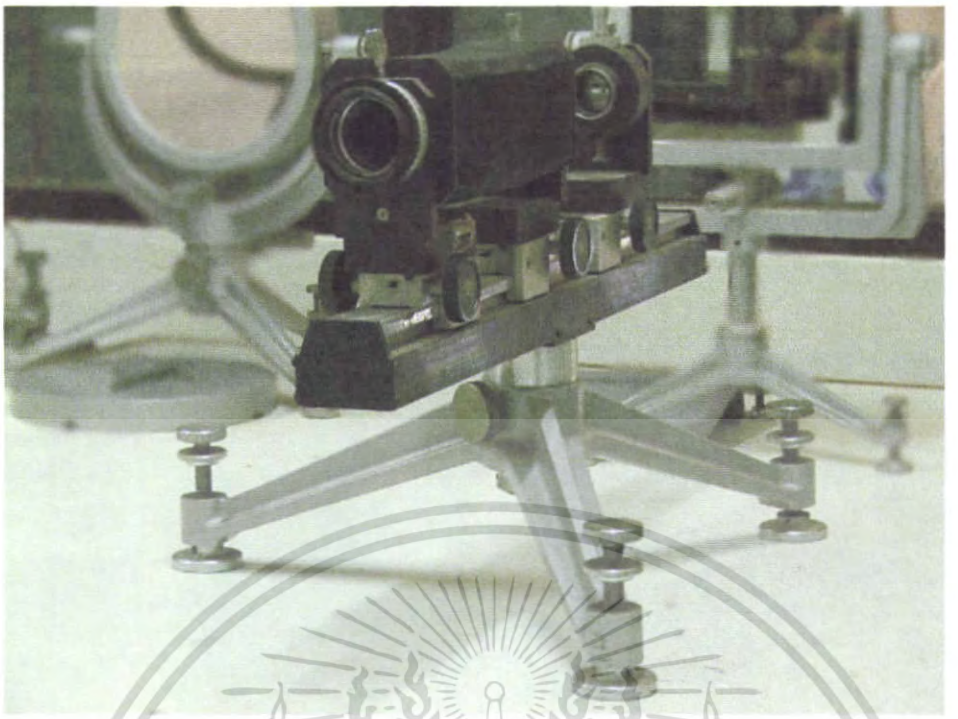


รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของ Concave Mirror



รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของ Reflect Mirror

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



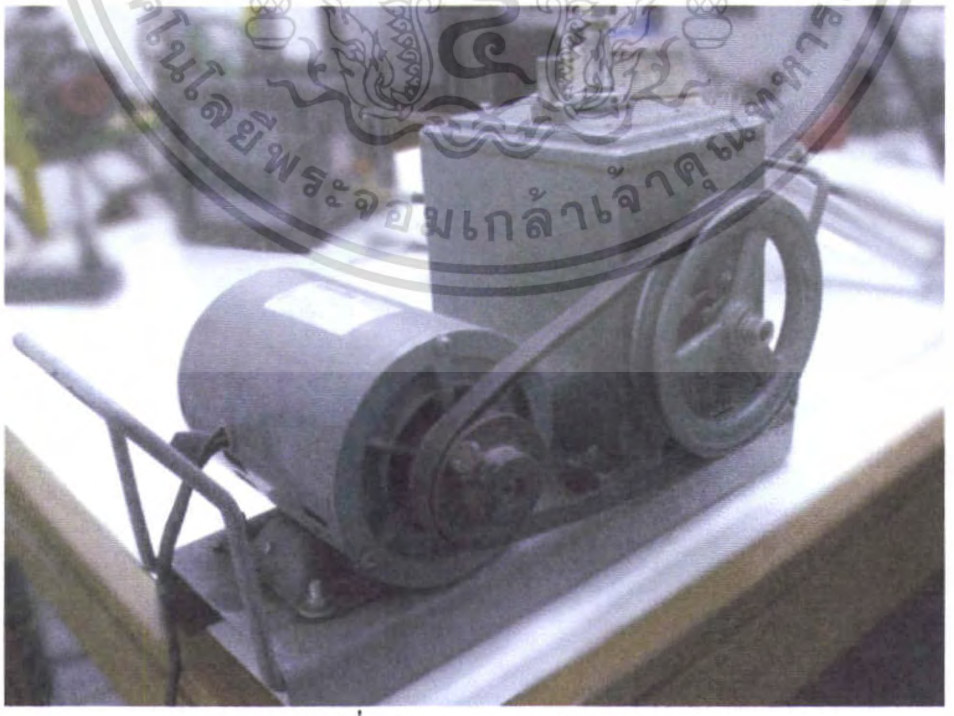
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของ Knife Edge System

รูปอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดสอบ

รูปที่ 5.6 แสดงห้องเผาไหม้จำลอง

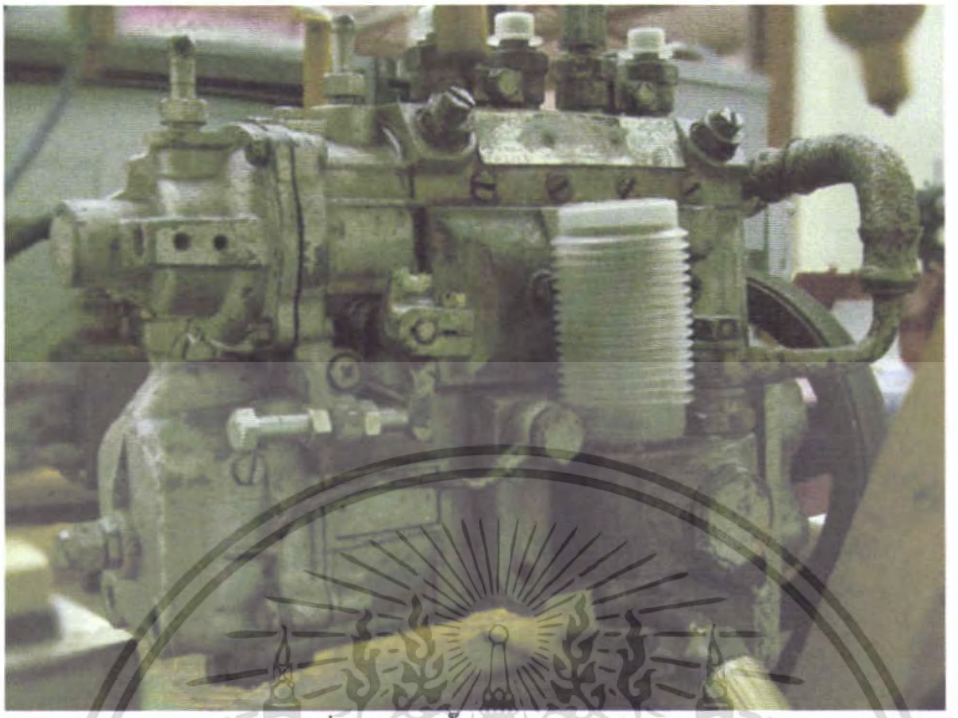
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 แสดงถังแก๊สไนโตรเจน



รูปที่ 5.8 แสดง Vacuum Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

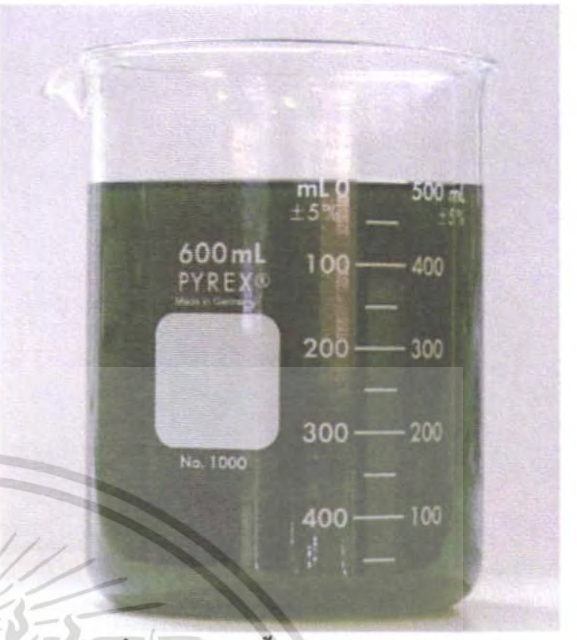


รูปที่ 5.9 แสดงปั๊มดีเซลแบบอินไลน์

รูปที่ 5.10 แสดงหัวฉีดดีเซลแบบ 4 รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

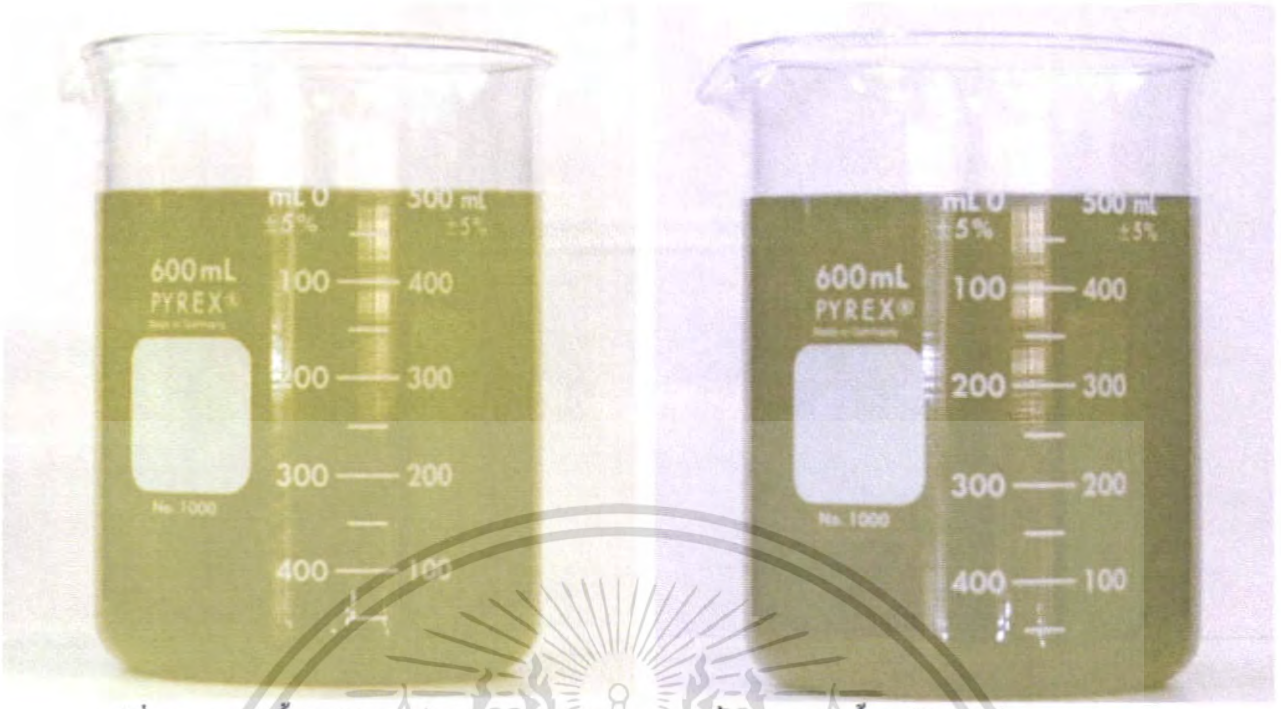
รูปที่ 5.11 แสดงน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5.12 แสดงน้ำมันไบโอดีเซล

รูปที่ 5.13 แสดงแอลกอฮอล์ (เอทานอล 95%)

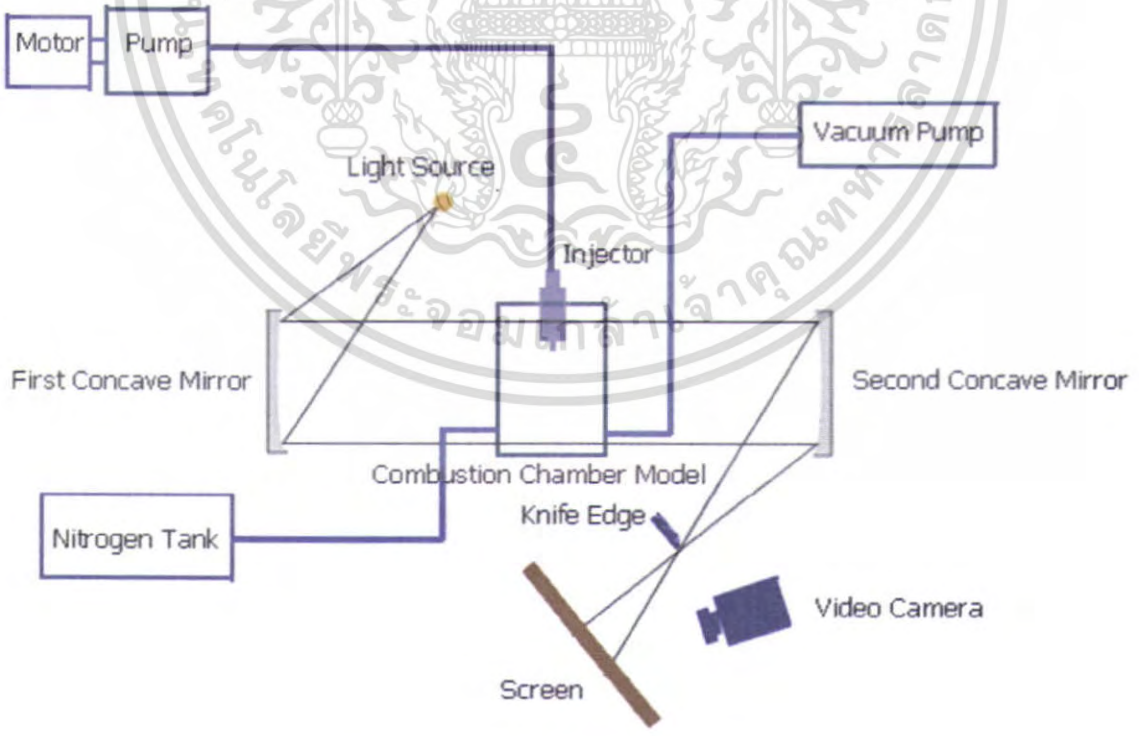
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%)

รูปที่ 5.15 แสดงน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล10%)

5.2 แผนผังแสดงแบบจำลองของชุดทดสอบ



รูปที่ 5.16 แสดงแบบจำลองของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิธีการทดลอง

1. จัดตั้งอุปกรณ์ชูลีเลนน์ตามทฤษฎีให้ได้ภาพที่คมชัด
2. ปรับค่าความดันภายในห้องเผาไหม้จำลองให้ได้ค่าความดัน 0.4 kg/cm^2, 0.6 kg/cm^2, 0.8 kg/cm^2 และ 1.0 kg/cm^2 ตามลำดับ
3. ปรับค่าความดันของหัวฉีดให้ได้ค่าความดัน 150 kg/cm^2, 170 kg/cm^2, 190 kg/cm^2 และ 210 kg/cm^2 ตามลำดับ
4. เปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, น้ำมันดีโซฮอลล์ (เอทานอล 5%) และ น้ำมันดีโซฮอลล์ (เอทานอล 10%) ตามลำดับ
5. ทำการฉีดน้ำมันพร้อมทั้งบันทึกวีดีโอการฉีดน้ำมันโดยกล้องวีดีโอ โดยปรับค่าความดันในห้องเผาไหม้จำลอง และค่าความดันของหัวฉีดพร้อมทั้งเปลี่ยนน้ำมันตามที่ต้องการ
6. นำภาพวีดีโอที่บันทึกได้จากกล้องไปตัดภาพโดยโปรแกรม FrameShots 3.0 โดยเลือกเฉพาะภาพที่เห็นการกระจายตัวของน้ำมันเต็มที่
7. ทำการวัดมุมองศาการกระจายตัวของน้ำมันจากหัวฉีดโดยโปรแกรม Screen Protractor 4.0
8. นำค่ามุมที่ได้มาวาดลงกราฟ
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการนำวิดีโอที่บันทึกได้จากการทดลอง มาตัดเป็นภาพและทำการวัดมุมด้วยโปรแกรมวัดมุม เราจะได้ภาพแสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่สภาวะต่างๆพร้อมแสดงองศาการกระจายตัวของสเปรย์น้ำมันที่สภาวะการทดลองต่างๆ ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมและจัดแสดงอยู่ในรูปตารางบันทึกผลและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาการกระจายตัว ความดันการฉีดน้ำมันและความดันในห้องเผาไหม้

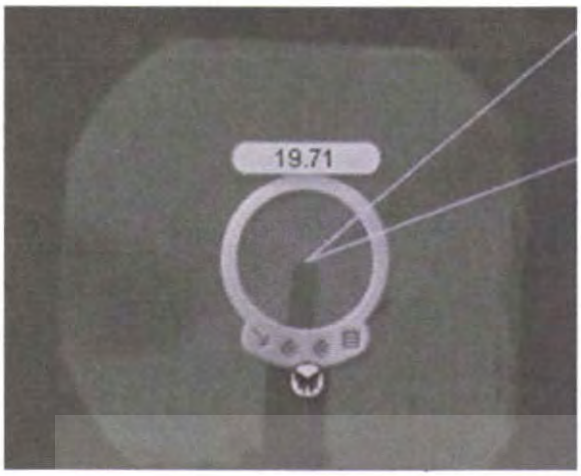
6.1 ผลการทดลอง

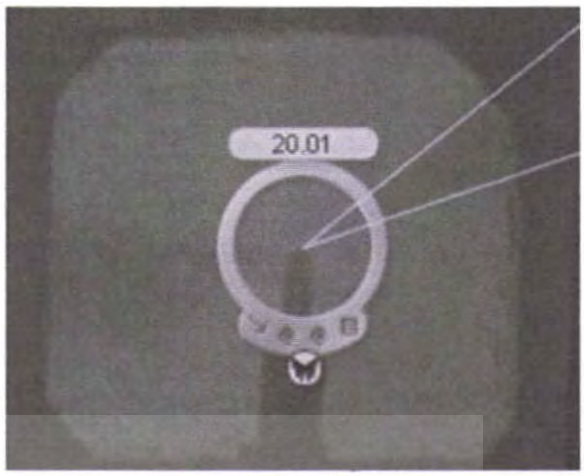
น้ำมันดีเซล

รูปที่ 6.1 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2

รูปที่ 6.2 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

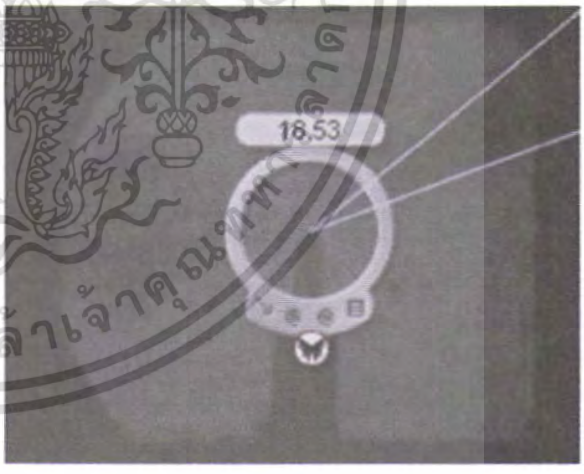




รูปที่ 6.3 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

รูปที่ 6.4 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

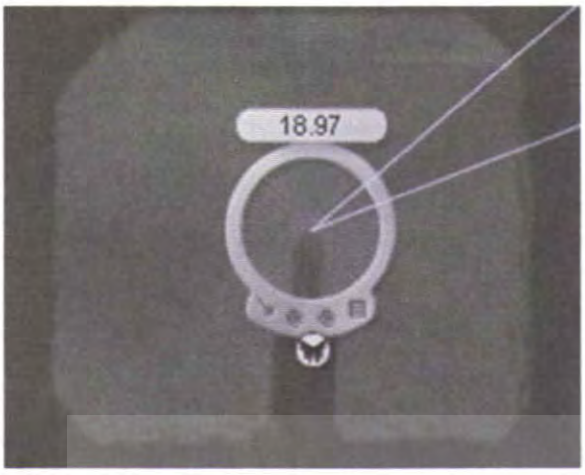
รูปที่ 6.1-6.4 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 150 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 18.48, 19.12, 19.71 และ 20.01 องศา ตามลำดับ



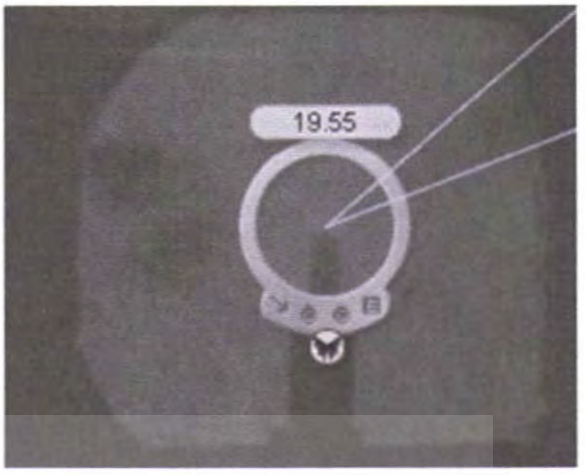
รูปที่ 6.5 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2

รูปที่ 6.6 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



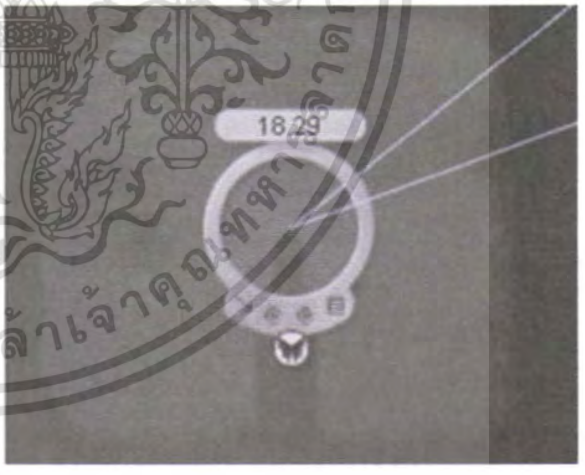
รูปที่ 6.7 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2



รูปที่ 6.8 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

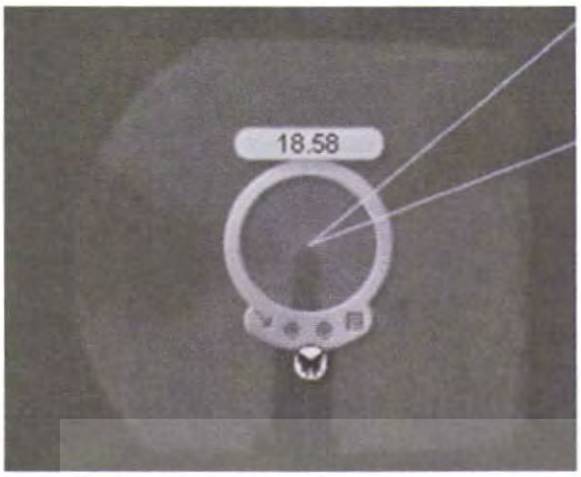
รูปที่ 6.5-6.8 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 170 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 18.14, 18.53, 18.97 และ 19.55 องศา ตามลำดับ

รูปที่ 6.9 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2

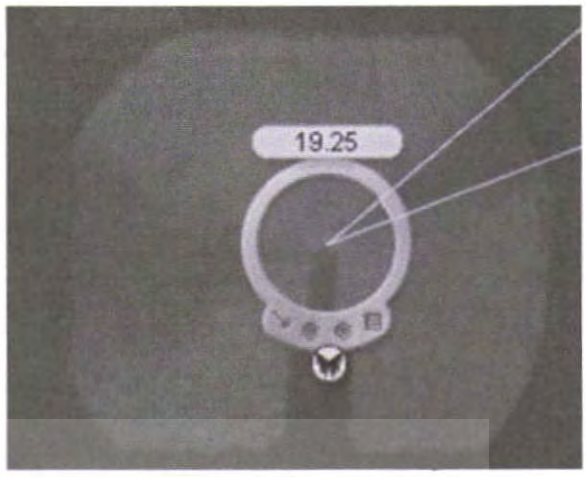


รูปที่ 6.10 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



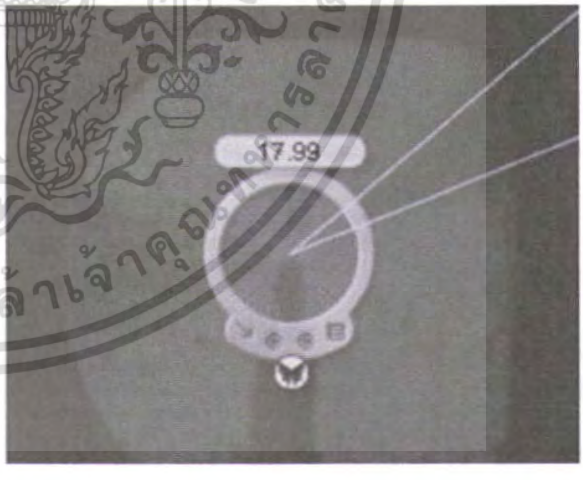
รูปที่ 6.11 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2



รูปที่ 6.12 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

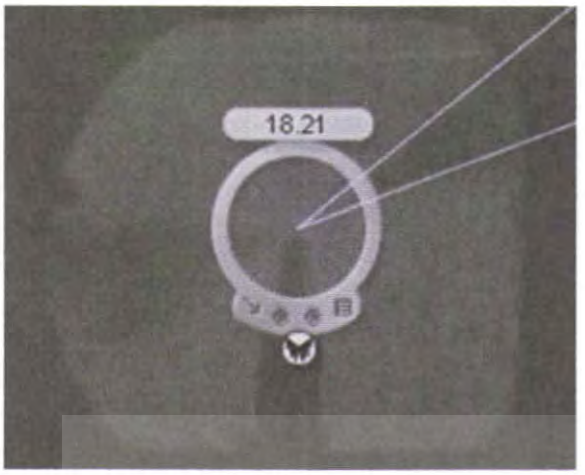
รูปที่ 6.9-6.12 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 190 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 17.85, 18.29, 18.58 และ 19.25 องศา ตามลำดับ

รูปที่ 6.13 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2

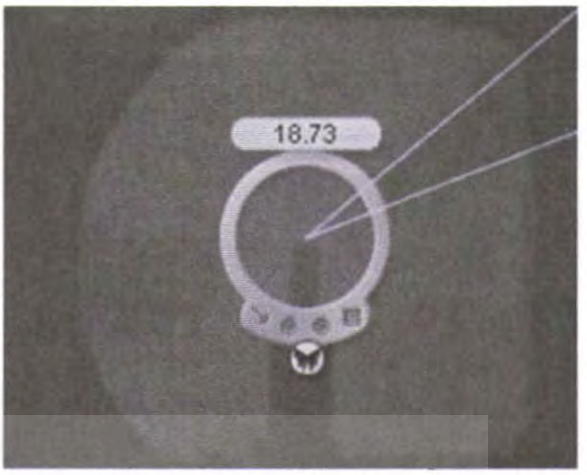


รูปที่ 6.14 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2



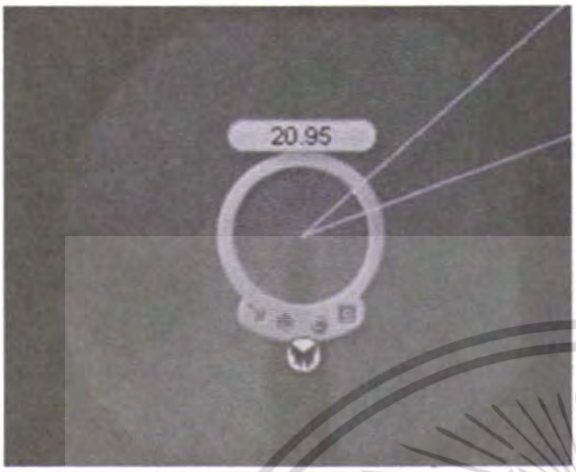
รูปที่ 6.16 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.13-6.16 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 210 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 17.65, 17.99, 18.21 และ 18.73 องศา ตามลำดับ

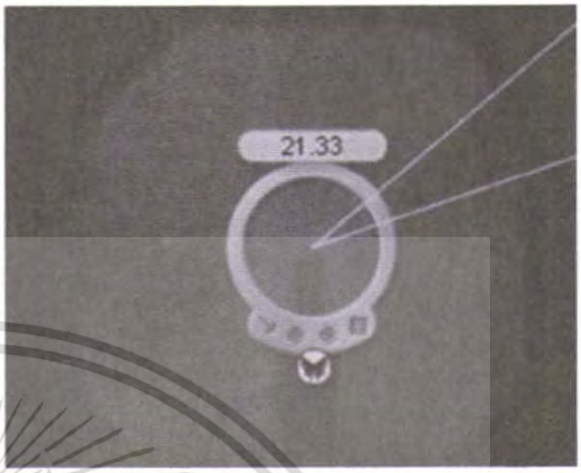
จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าว จะสังเกตได้ว่า เมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%)



รูปที่ 6.17 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



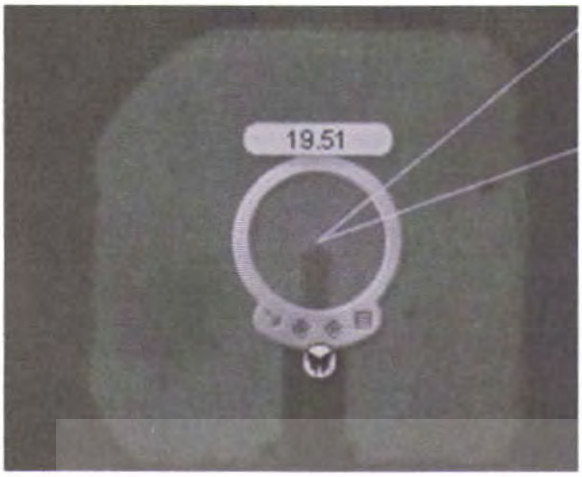
รูปที่ 6.18 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.19 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

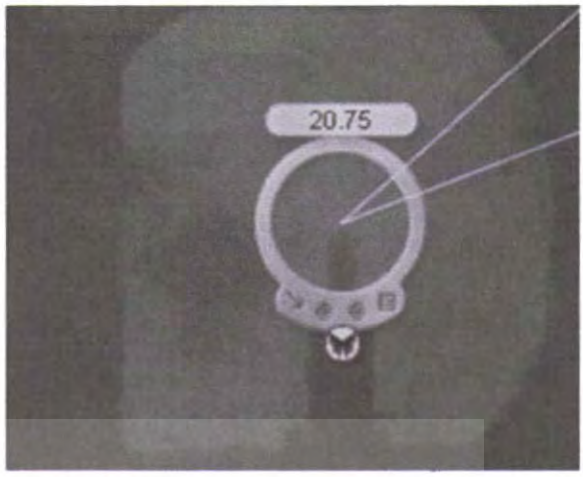
รูปที่ 6.20 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.17-6.20 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 150 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 20.95, 21.33, 22.98 และ 23.41 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



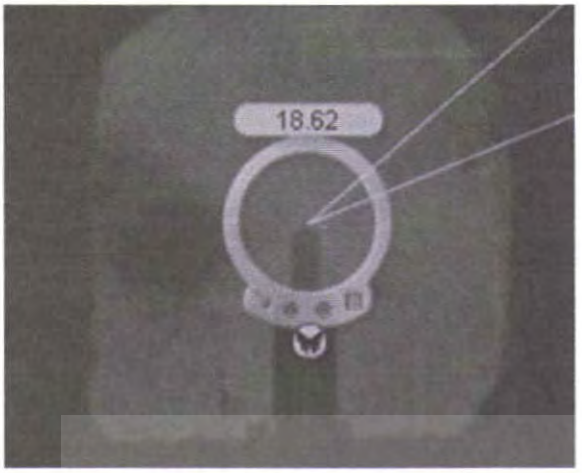
รูปที่ 6.22 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.23 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

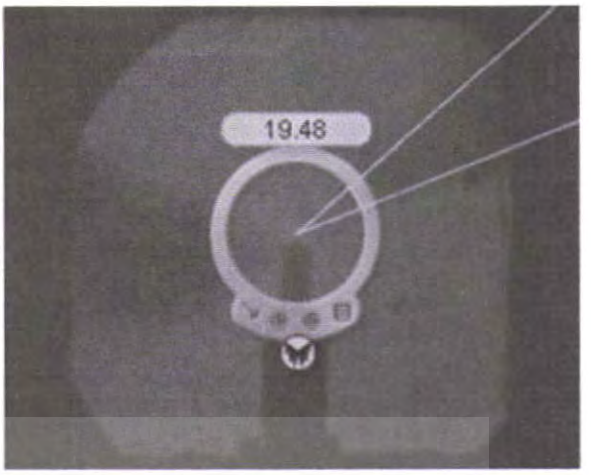
รูปที่ 6.24 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.21-6.24 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 170 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 19.51, 20.75, 21.45 และ 22.74 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

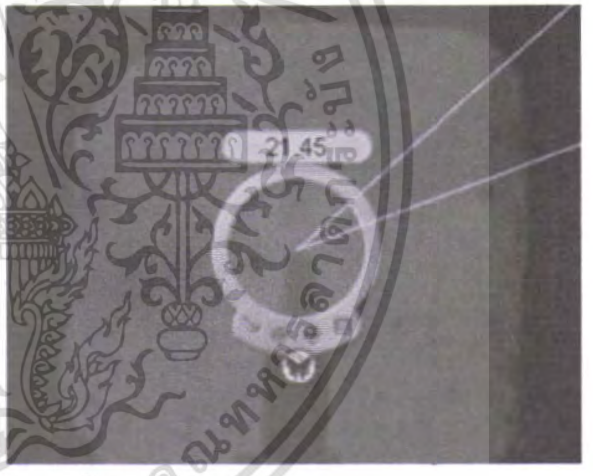


รูปที่ 6.25 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



รูปที่ 6.26 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

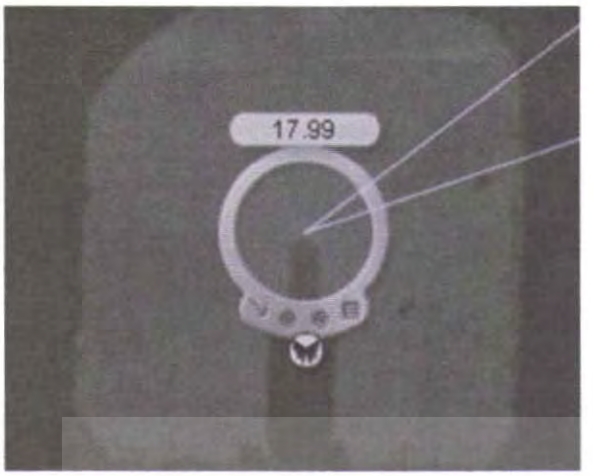
รูปที่ 6.27 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2



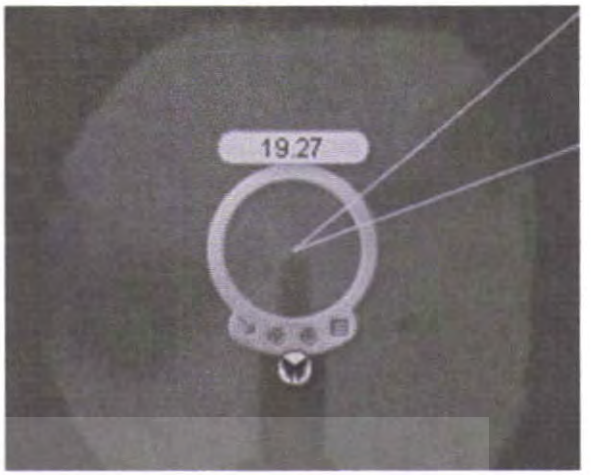
รูปที่ 6.28 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.25-6.28 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 190 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 18.62, 19.48, 20.70 และ 21.45 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.29 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



รูปที่ 6.30 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.31 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

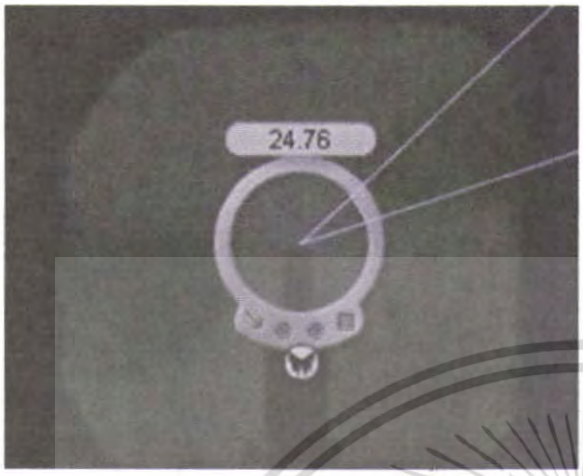
รูปที่ 6.32 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.29-6.32 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 210 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ17.99, 19.27, 20.25 และ 20.97 องศา ตามลำดับ

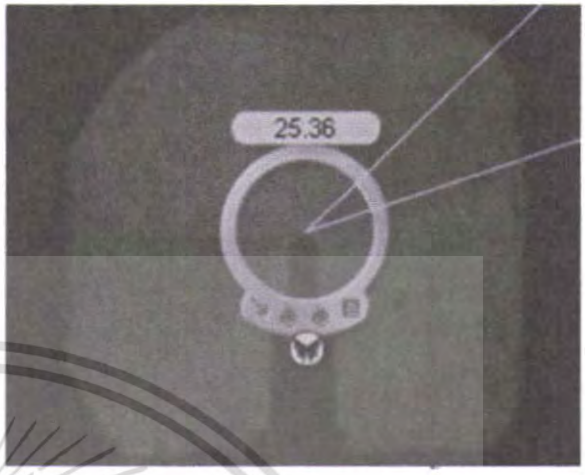
จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าว จะสังเกตได้ว่า เมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)

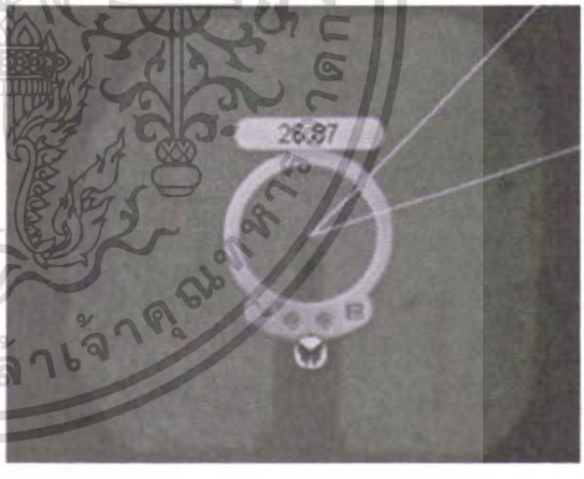


รูปที่ 6.33 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



รูปที่ 6.34 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

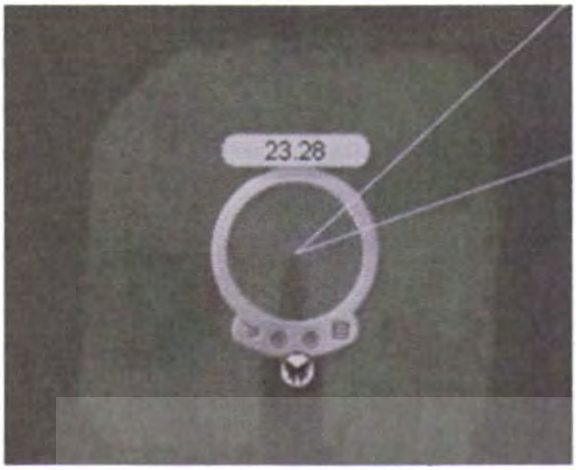
รูปที่ 6.35 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2



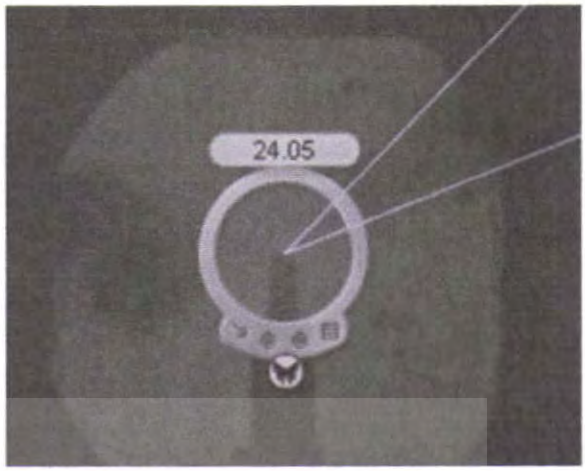
รูปที่ 6.36 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 150 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.33-6.36 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 150 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 24.76, 25.36, 26.32 และ 26.87 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.37 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



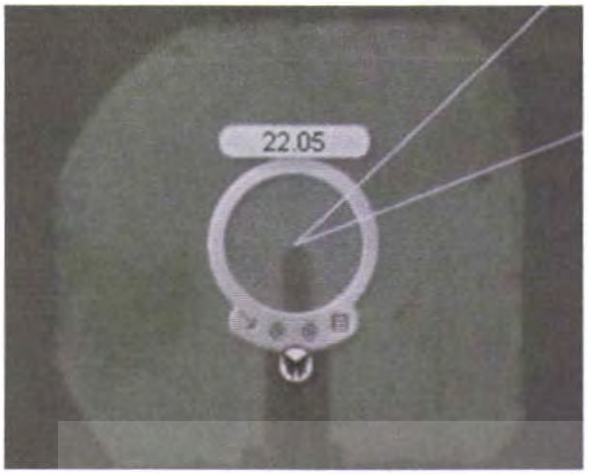
รูปที่ 6.38 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.39 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

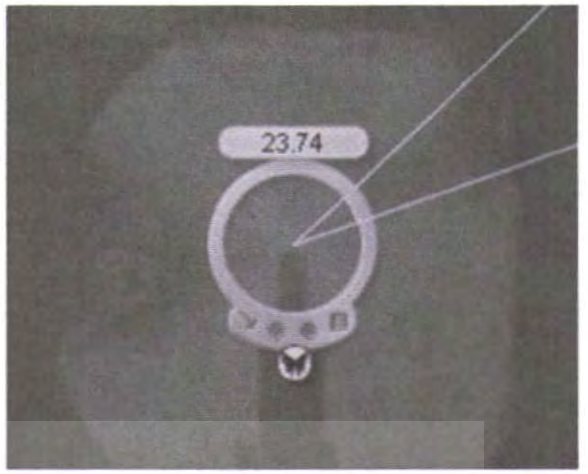
รูปที่ 6.40 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 170 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.37-6.40 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 170 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีไซฮอล์ (เอทานอล 10%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 23.28, 24.05, 25.19 และ 26.09 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.41 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



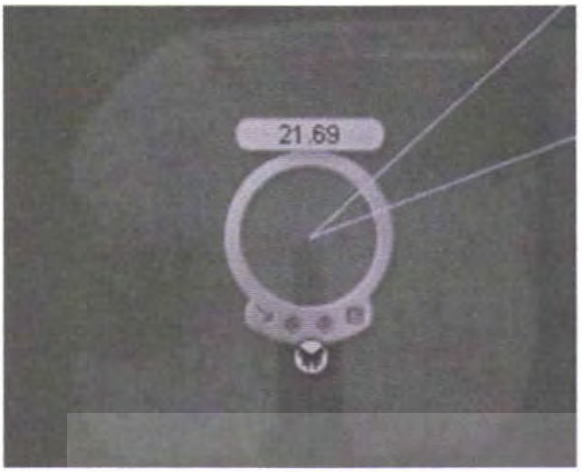
รูปที่ 6.42 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.43 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

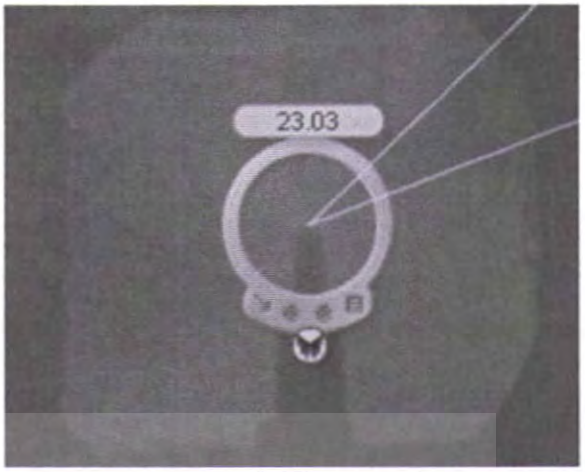
รูปที่ 6.44 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 190 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.41-6.44 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 190 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.05, 23.74, 24.14 และ 25.01 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.45 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.4 kg/cm^2



รูปที่ 6.46 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.6 kg/cm^2

รูปที่ 6.47 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 0.8 kg/cm^2

รูปที่ 6.48 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันที่ :
ความดันหัวฉีด 210 kg/cm^2
ความดันห้องเผาไหม้จำลอง 1.0 kg/cm^2

รูปที่ 6.45-6.48 ได้จากการทดลองที่สภาวะความดันหัวฉีดคงที่ 210 kg/cm^2 โดยปรับความดันในห้องเผาไหม้ ที่ความดันเท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 kg/cm^2 และใช้น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้องศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 21.69, 23.03, 23.63 และ 24.79 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าว จะสังเกตได้ว่า เมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะลดลง

สาเหตุหลักที่ทำให้องศาการกระจายตัวเปลี่ยนแปลงเนื่องจากรูปแบบการสเปรย์นั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการฉีดน้ำมัน เมื่อความเร็วในการฉีดน้ำมันมากองศาการกระจายตัวจะแคบและในทางกลับกันหากความเร็วในการฉีดน้ำมันน้อยองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะกว้าง เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันมากทำให้ความเร็วของการฉีดน้ำมันก็จะมากด้วย ทำให้องศาการกระจายตัวของน้ำมันลดลง แต่เมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของการสเปรย์ความเร็วในการฉีดน้ำมันจึงลดลง ทำให้องศาการกระจายตัวของน้ำมันเพิ่มขึ้นนั่นเอง

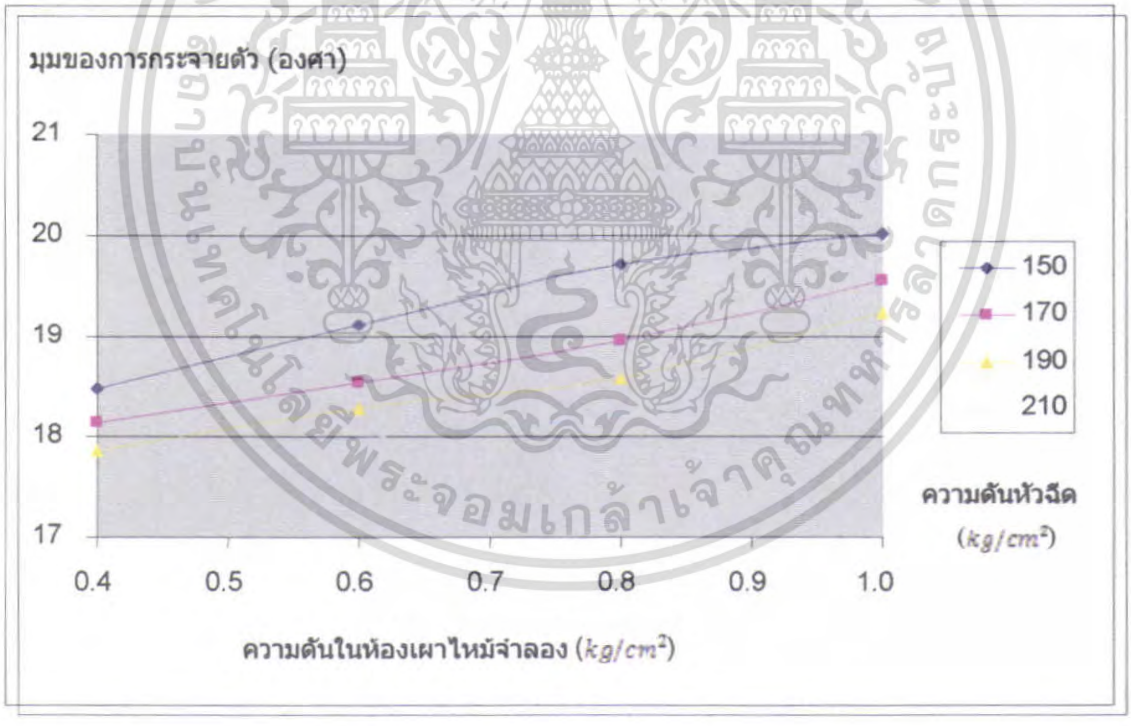
จากรูปที่ 6.1 – 6.48 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันทั้งสามชนิด ผลที่ได้จากการถ่ายภาพการสเปรย์ของหัวฉีดพบว่า เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) องศาการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) องศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน สาเหตุที่ทำให้องศาการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีโซลฮอล์เพราะในน้ำมันดีโซฮอล์มีเอทานอลเป็นส่วนผสมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีเซล

ตารางที่ 6.1 แสดงขนาดองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซลที่ความดันต่างๆ

ความดันหัวฉีด (kg/cm^2)	ความดันภายในห้องเผาไหม้จำลอง (kg/cm^2)			
	0.4	0.6	0.8	1.0
150	18.48	19.12	19.71	20.01
170	18.14	18.53	18.97	19.55
190	17.85	18.29	18.58	19.25
210	17.65	17.99	18.21	18.73



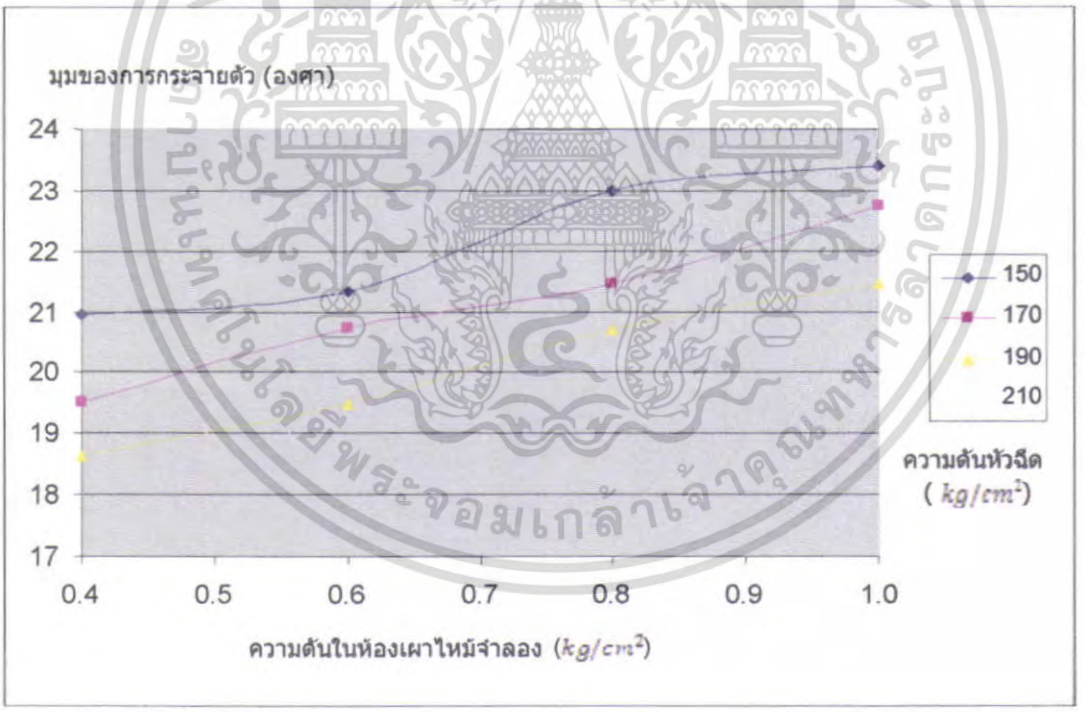
รูปที่ 6.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีเซล ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%)

ตารางที่ 6.2 แสดงขนาดองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) ที่ความดันต่างๆ

ความดันหัวฉีด (kg/cm^2)	ความดันภายในห้องเผาไหม้จำลอง (kg/cm^2)			
	0.4	0.6	0.8	1.0
150	20.95	21.33	22.98	23.41
170	19.51	20.75	21.45	22.74
190	18.62	19.48	20.70	21.45
210	17.99	19.27	20.25	20.97



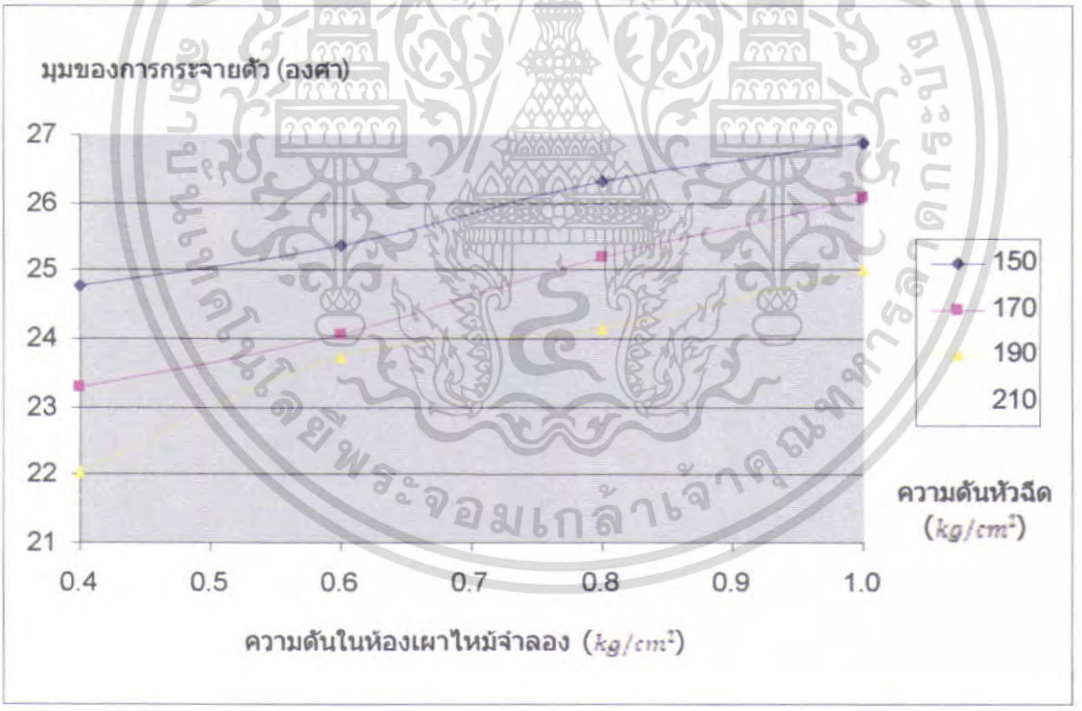
รูปที่ 6.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)

ตารางที่ 6.3 แสดงขนาดองศาการกระจายตัวของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) ที่ความดันต่างๆ

ความดันหัวฉีด (kg/cm^2)	ความดันภายในห้องเผาไหม้จำลอง (kg/cm^2)			
	0.4	0.6	0.8	1.0
150	24.76	25.36	26.32	26.87
170	23.28	24.05	25.19	26.09
190	22.05	23.74	24.14	25.01
210	21.69	23.03	23.63	24.79



รูปที่ 6.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้จำลองและองศาการกระจายของน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) ที่ความดัน 150, 170, 190 และ 210 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลอง ความชัดเจนของภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับใบมีดตัดแสง (Knife Edge System) กล่าวคือยิ่งปรับให้ใบมีดตัดแสงส่วนเกินออกไปได้มากเท่าใดภาพที่เห็นยิ่งชัดเจนเท่านั้น

2. เมื่อความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น 2.443% สำหรับน้ำมันดีเซล, 3.684% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) และ 4.786% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)

3. เมื่อความดันในการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นองศาการกระจายตัวของน้ำมันจะลดลง 2.126% สำหรับน้ำมันดีเซล, 3.817%สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) และ 4.192% สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%)

4. เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) องศาการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น 10.964%และเมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 5%) เป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (เอทานอล 10%) องศาการกระจายตัวของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น 17.523%

5. แต่เนื่องจากภาพที่ได้จากการฉีดน้ำมันที่ความดันหนึ่งๆยังมีจำนวนน้อย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้คือกล้องวีดีโอไม่สามารถบันทึกภาพการฉีดน้ำมันที่มีความเร็วสูงมากได้

ปัญหาในการทดลอง

- ห้องเผาไหม้จำลองทนความดันได้ในปริมาณที่จำกัด ซึ่งในการทดลองจริงต้องการห้องเผาไหม้ที่สามารถทนความดันสูงได้เพื่อดูการกระจายตัวที่ความดันต่างๆได้มากขึ้น
- อุปกรณ์บันทึกภาพไม่สามารถบันทึกภาพการฉีดน้ำมันที่มีความเร็วสูงมากได้ดีเท่าที่ควร

แนวทางการแก้ปัญหา

- ออกแบบห้องเผาไหม้จำลองใหม่ให้สามารถทนความดันสูงได้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้อย่างแม่นยำ
- ใช้กล้องที่มีความเร็วสูงในการบันทึกภาพ ซึ่งกล้องที่เหมาะสมในการถ่ายภาพการฉีดน้ำมันซึ่งมีความเร็วสูงมาก เช่น กล้องซีซีดี (CCD Camera) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] V Ganesan, 2004, "Internal Combustion Engines" second edition, McGraw-Hill

[2] K K Jain, R B Astana, 2002, "Automobile Engineering", Tata McGraw-Hill

[3] A Jeronimo & V Vander Haegen, 2002, "Schlieren Technique – Lab Note"

[4] Setting National Fuel Quality Standards paper no.7 "Discussion Peper on Diesohol", Department of the Environment and Heritage, Australia

[5] นายพรหมเมศร์ ขวัญเจริญ, 2548, "การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในดีโซฮอล์ในประเทศไทย"

[6] Alan C Hansen, Peter W L Lyne, Qin Zhang, 2001, "Ethanal-Diesel Blends : A Step Towards a Bio-based Fuel Diesel Engine"

[7] นายจิรวัฒน์ วงศ์ข้าหลวง, นายชัยพงษ์ เหลืองพิพัฒน์, นายภานุมาส พูนศรัทธา, 2542, "การศึกษาการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์"

[8] นายวรวิทย์ บุญมาหล้า, นายวโรรส อินทรศิริพงษ์, นายสราวุฒิ แสนโคตร, 2543, "การศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากวัฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์."

[9] นายธวัช แก้วปราณี, นายโชคชัย แสงคีรีเขต, นายตะวัน หนูทราย, 2545, "อิทธิพลของหัวฉีดต่อสมรรถนะและควันดำของเครื่องยนต์ดีเซล"

[10] Kraipat Cheenkachorn1, Monpilai H. Narasingha and Juthawan Pupakornnopparut, 2004, "Biodiesel as an Additive for Diesohol"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้